

**FOSFORILANNOITUKSEN VAIKUTUS SIPULIN SATOON,  
RAVINNEPITOISUUKSIIN JA MAAN LIUKOISEN FOSFORIN  
PITOISUUTEEN KASVUKAUDELLA**

Suvi Mäkinen  
Maisterintutkielma  
Helsingin yliopisto  
Maataloustieteiden laitos  
Kasvinviljelytiede  
2019

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Maataloustieteiden laitos	
Tekijä — Författare — Author Suvi Mäkinen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Fosforilannoituksen vaikutus sipulin satoon, ravinnepitoisuuksiin ja maan liukoisen fosforin pitoisuuteen kasvukaudella			
Oppiaine — Läroämne — Subject Kasvinviljelytiede			
Työn laji — Arbetets art — Level Maisterintutkielma		Aika — Datum — Month and year tammikuu 2019	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 51 s.
<p>Tiivistelmä — Referat — Abstract</p> <p>Ruokasipuli (<i>Allium cepa</i> L.) on yksi Suomen eniten viljellyistä avomaan vihanneksista. Sipulin fosforinotosta on vähän kotimaisia tutkimustuloksia ja nykyiset fosforilannoitusmäärät perustuvat asiantuntija-arvioihin ja laskennallisiin keskiarvoihin fosforin otosta.</p> <p>Fosfori on kasveille välttämätön makroravinne, jonka puute heikentää merkittävästi kasvien kasvua. Lannoitteiden sisältämä fosfori on louhittu pääosin uusiutumattomista luonnonvaroista, joten fosforilannoitteiden käytön tulisi olla ympäristön kannalta järkevää.</p> <p>Sipulin fosforinottoa tutkittiin 2014 kahdella maalajilla (karkea hieta, korkea fosforipitoisuus ja hiuesavi, välttävä fosforipitoisuus) Luonnonvarakeskuksen toimipaikalla Piikkiössä. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää fosforilannoitustasojen vaikutus sipulin kasvuun, ravinteikkuuteen ja satoon sekä seurata maaperän liukoisen fosforin pitoisuutta kasvukaudella. Tutkimuksessa mitattiin sipulin lehtien kasvu ja ravinnepitoisuus kerran kasvukauden aikana, sekä sadonkorjuun jälkeen satotaso, sipulien ja lehtien ravinnepitoisuus sekä sadon mukana poistuneet ravinteet. Maan helppoliukoisen fosforin pitoisuutta seurattiin viikoittaisilla maanäytteillä.</p> <p>Neliportaisen lannoituskokeen tulokset osoittivat, ettei yksivuotisella lannoituskokeella saatu esiin tilastollisesti merkitseviä eroja satomäärissä tai sadon mukana poistuneiden ravinteiden määriä eri lannoitustasojen välillä. Fosforilannoitus vaikutti sipulien ravinnepitoisuuksiin vain yksittäisten ravinteiden osalta. Myös maan liukoisen fosforin pitoisuudet tasoittuivat lannoituseroista huolimatta nopeasti samalle tasolle kummallakin maalajilla.</p> <p>Sipulin ravinteiden otto oli hietamaalla 22–26 kg P /ha, 86–102 kg N /ha ja 92–111 kg K /ha ja savimaalla 18–20 kg P/ha, 84–90 kg N /ha ja 92–101 kg K /ha.</p> <p>Sipuleissa ei havaittu fosforinpuutosta, eikä kasvustonäytteiden perusteella voida sanoa, soveltuuko sipulikasvuston mittaaminen tai lehtien ravinteiden analysointi mittaamaan kasvuston fosforin ottoa tai tunnistamaan fosforinpuutoksen oireita. Kokeen tulosten perusteella nykyisin käytettävät fosforilannoitusmäärät ovat sipulin sadonmuodostuksen kannalta riittävät.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Ruokasipuli, satotaso, fosforilannoitus, maan liukoinen fosfori, <i>Allium cepa</i> L.			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Maataloustieteiden laitos ja Viikin kampuskirjasto			
<p>Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information</p> <p>Työn ohjaajat: MMT Terhi Suojala-Ahlfors ja MMT Risto Uusitalo, Luonnonvarakeskus</p>			

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos — Institution — Department Department of Agricultural Sciences	
Tekijä — Författare — Author Suvi Mäkinen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title The effect of phosphorus fertilization on yield and nutrition content of onion and on soluble phosphorus during growing season			
Oppiaine — Läroämne — Subject Crop Science			
Työn laji — Arbetets art — Level Master's thesis		Aika — Datum — Month and year January 2019	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 51 p.
<p>Tiivistelmä — Referat — Abstract</p> <p>Onion (<i>Allium cepa</i> L.) is a widely cultivated open field vegetable in Finland. There are only a few Finnish studies on phosphorus fertilization of onions and generally accepted onion fertilization rates are based on expertise evaluations and standard intake means.</p> <p>Phosphorus (P) is an essential macronutrient for plants, and its deficiency has severe effects on the growth of crop plants. Phosphorus is mined mainly from non-renewable sources, and therefore the use of phosphorus fertilization should be environmentally sustainable.</p> <p>Phosphorus uptake of onions was studied in 2014 on two soils (sandy loam with high P status and clay loam with passable P status) in Piikkiö, an examination site of National Resources Institute Finland. The aim of the study was to measure the effect of phosphorus fertilization on growth, nutrition levels and yield of onions and follow the content of soluble P in soil during growing season. The growth and nutrient contents of onion leaves was measured once during growing season. Onion yield, nutrient contents of onions and leaves and yield nutrient intake were also measured after harvest. Soil soluble P content was followed up with weekly soil samples.</p> <p>The results of this four-level, one-year fertilization experiment showed no statistical differences in yield or nutrient intake between fertilization levels during growing season. Only a few nutrient levels of onions were affected by fertilization rate. The soil soluble P balanced quickly to the same level in both soils despite the differences in fertilization levels.</p> <p>Because there were no symptoms of phosphorus deficiency in onions or differences in nutritional contents of onion leaves, it's impossible to say whether leaf samples can be used to detect P deficiency during growing season or not.</p> <p>The nutrition uptake of onion was 22–26 kg P /ha, 86–102 kg N /ha and 92–111 kg K /ha on sandy loam and 18–20 kg P/ha, 84–90 kg N /ha and 92–101 kg K /ha on clay loam. Based on these results, there is no need to raise the phosphorus fertilization rates in Finland.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Bulb onion, crop yield, phosphorus fertilization, soluble phosphorus, <i>Allium cepa</i> L.			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Department of Agricultural Sciences and Viikki Campus Library			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information The counsellors of the thesis: Dr. Terhi Suojala-Ahlfors and Dr. Risto Uusitalo, Natural Resources Institute Finland			

# SISÄLLYS

<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 SIPULI.....</b>	<b>2</b>
2.1 Sipulin kehitysrytmi ja sadonmuodostus .....	4
2.2 Sipulin viljelyvaatimukset.....	6
2.3 Sipulin ravinnetarve ja lannoituskäytännöt .....	7
<b>3 FOSFORI .....</b>	<b>9</b>
3.1 Fosfori kasvinravinteena .....	10
3.2 Fosforin puutosoireet .....	11
3.3 Fosforin otto maaperästä .....	11
3.4 Sipulin fosforinotto .....	13
<b>4 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET.....</b>	<b>14</b>
<b>5 AINEISTO JA MENETELMÄT.....</b>	<b>15</b>
5.1 Koejärjestelyt.....	15
5.1.1 Lannoitus ja kasvinsuojelu .....	15
5.1.2 Kastelu .....	17
5.2 Kasvustonäytteet.....	18
5.3 Sadonkorjuu ja sato .....	18
5.4 Ravinneanalyysit .....	18
5.4.1 Sipulien ravinteet .....	18
5.4.2 Maan viljavuus .....	19
5.4.3 Maan liukoinen fosfori .....	19
5.5 Kasvukauden sääolot.....	20
5.6 Aineiston tilastollinen käsittely.....	20
<b>6 TULOKSET .....</b>	<b>21</b>
6.1 Sipulisato .....	21
6.1.1 Tuoresato.....	21
6.1.2 Kauppakelpoinen sato .....	22
6.1.3 Laskennallinen kuivasato.....	23
6.2 Sadon sisältämät ravinteet.....	24
6.3 Sadon mukana poistunut fosfori, typpi ja kalium .....	25
6.4 Kasvustomittaukset .....	28
6.4.1 Lehtien määrä ja maksimipituus .....	28
6.4.2 Lehtien ravinnepitoisuus .....	29
6.5 Maan liukoinen fosfori .....	30
6.6 Maan viljavuus .....	32
<b>7 TULOSTEN TARKASTELU .....</b>	<b>33</b>
7.1 Sipulisadon määrä ja laatu .....	33
7.2 Kasvuston seuranta .....	34
7.3 Sadon ravinteet.....	35
7.4 Sadon NPK-otto .....	36
7.5 Fosforilannoitustasot.....	37
7.6 Maan ravinteet .....	38
<b>8 JOHTOPÄÄTÖKSET.....</b>	<b>39</b>
<b>9 KIITOKSET .....</b>	<b>40</b>

<b>LÄHTEET.....</b>	<b>41</b>
<b>LIITE 1 KOEKARTAT.....</b>	<b>47</b>
<b>LIITE 2 SIPULIEN JA LEHTIEN RAVINNEPITOISUUDET .....</b>	<b>49</b>
<b>LIITE 3 LEHTIEN RAVINNEPITOISUUDET.....</b>	<b>50</b>
<b>LIITE 4 VILJAVUUSTULOKSET .....</b>	<b>51</b>

# 1 JOHDANTO

Ruokasipuli (*Allium cepa* L.) oli vuonna 2017 sadoltaan (26,105 miljoonaa kg) Suomen toiseksi laajimmin viljelty avomaan vihannes porkkanan (*Daucus carota* L.) jälkeen ja kolmanneksi laajimmalla pinta-alalla (1191 ha) viljelty laji tarhaherneen (*Pisum sativum* var. *sativum* L.) ja porkkanan jälkeen (SVT 2017). Ruokasipulia voidaankin pitää tärkeänä avomaan vihanneksena Suomessa.

Viljelyn laajuudesta huolimatta sipulin fosforilannoitusta ja lannoituksen satovastetta on tutkittu Suomessa vähän. Nykyiset lannoitusrajat perustuvat koetulosten puuttuessa asiantuntija-arvioihin ja laskennallisiin keskiarvoihin fosforin otosta, eivätkä ne huomioi kasvien juuriston tai kasvutavan eroja ravinteiden otossa. Esimerkiksi matalajuurisen sipulin sekä syväjuurisen, paljon lehtimassaa tuottavan keräkaalin (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) ympäristökorvausjärjestelmän mukaiset fosforilannoitusmaksimit ovat yhtä suuret, 25–110 kg/ha/v viljavuusluokasta riippuen (Mavi 2015).

Vihannesviljelyssä riittämätön lannoitus voi alentaa satoa, kun taas liiallinen lannoitus voi johtaa fosforin kertymiseen viljelymaahan. Ylilannoitus kerryttää vähitellen maan helppoliukoisien fosforin pitoisuutta, mikä lisää fosforin huuhtoutumisherkkyyttä ja vesistökuormitusta. Siksi ravinnesaannin seuranta ja kasvustonäytteiden otto kasvukaudella voisivat olla hyviä keinoja seurata lannoituksen onnistumista ja varmistaa viljelyn taloudellinen kannattavuus.

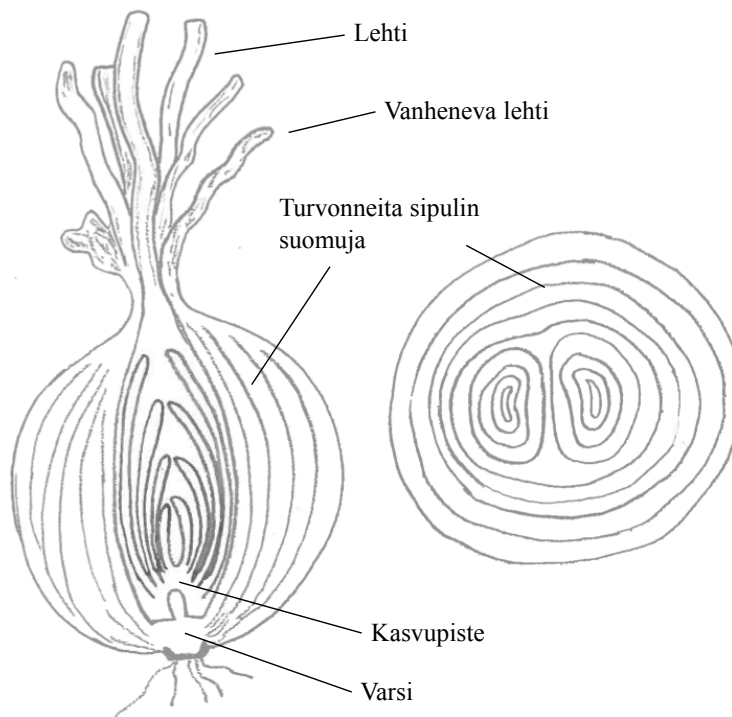
Sipulin fosforinottoa tutkittiin vuonna 2014 kenttäkokeessa kahdella maalajilla Luonnonvarakeskuksen (Luke) toimipaikalla Piikkiössä. Tutkimukseen valittiin korkean ja välttävän fosforipitoisuuden lohkot, koska lannoituksen vaikutus voi olla erilainen fosforipitoisuudeltaan vaihtelevilla mailla. Lannoituksen korkeimmaksi tasoksi valittiin ympäristötuen sallima enimmäismäärä P-luokassa korkea ja sen ylittävä taso P-luokassa välttävä. Tutkimus oli osa Luken kolmivuotista, vuonna 2014 alkanutta ”Vihannesten ja marjakasvien tasapainoinen N- ja P-lannoitus sekä ravinnepäästöjen vähentäminen” -hanketta.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää fosforilannoituksen vaikutus sipulin kasvuun, satoon, ravinnepitoisuuksiin sekä maaperän liukoisien fosforin pitoisuuteen. Oletuksena oli, että erot fosforilannoituksessa näkyisivät kasvukaudella kasvuston rehevyudessa,

lehtien ravinnepitoisuudessa ja maaperän liukoisen fosforin pitoisuudessa sekä sadonkorjuuvaiheessa sadon määrässä, laadussa ja ravinnepitoisuudessa verrattuna lannoittamattomaan kontrolliin.

## 2 SIPULI

Ruokasipuli eli kepasipuli tai keltasipuli on yksisirkkainen, kaksivuotinen viljelykasvi, josta käytetään sadoksi päällekkäisistä paksuuntuneista lehdistä eli suomuista muodostunut sipuli (kuva 1) (Peirce 1987), joskus myös vihreä verso-osa (Brewster 1997). Sipulisadon käyttötapoja ovat kuivaus, pakastus, pikkelöinti, kuivaus jauheena tai hiutaleina tai tislattuna öljynä (Bosch-Serra ja Currah 2002). Sipulille ominainen tuoksu ja etenkin leikattaessa aistittava pistävyys johtuvat rikkihapon aminohappojen, ammoniakkin ja pyruvaatin reagoimisesta allinaasientsyymien kanssa (Brewster 1994).



Kuva 1. Ruokasipulin rakenne pitkittäis- ja poikkileikkauksena. Muokattu lähteestä Peirce (1987).

Ruokasipuli kuuluu laukkakasvien sukuun (*Allium*) ja laukkakasvien heimoon (*Alliaceae*) (Räty 2017). Se on viljelyalalla mitattuna merkittävin laukkakasvien heimosta (Peirce 1987). Vaikka sipulit ovat sopeutuneet lähes kaikkiin ilmastotyyppeihin (Nonnecke 1989), ne ovat erityisesti viileiden (Nonnecke 1989) ja kuivien (Brewster 1994) alueiden kasveja. Sipuleja voidaan kasvattaa siemenistä tai edellisvuoden istukkaista (Peirce 1987). Lyhyestä kasvukaudesta johtuen Suomessa sipulit kasvatetaan yleensä istukkaista. Istukkaiden etuna on nopeampi sipulin muodostus ja sadon tuleentuminen verrattuna siemenistä kasvatettuihin sipuleihin (Bosch-Serra ja Currah 2002).

Sipulilajikkeet voidaan jakaa lyhyen, keskipitkän, pitkän ja erittäin pitkän päivän lajikkeisiin (Bosch-Serra ja Currah 2002). Eurooppalaiset lyhyen päivän (päivänpituus 12–13 h) lajikkeet ovat maultaan mietoja ja pehmeitä, mutta varastolaadultaan heikkoja (Peirce 1987). Pitkän päivän lajikkeet (päivänpituus yli 14,5 h) ovat pistävän makuisia ja kovia, mutta kestävät varastointia hyvin (Peirce 1987, Nonnecke 1989). Avopölytteisistä lajikkeista on pitkälti siirrytty F1-hybridien viljelyyn paremman satotason, lajikepuhtauden ja sipulien tasalaatuisuuden vuoksi (Peirce 1987, Bosch-Serra ja Currah 2002).

Sipulin kuiva-ainepitoisuus vaihtelee lajikkeittain. Tuorekäyttöön tarkoitettujen lajikkeiden kuiva-ainepitoisuus (7–10 %) on alempi kuin teollisuuskäyttöön tarkoitetuilla lajikkeilla (20 %) (Darbyshire ja Steer 1990). Alemman kuiva-ainepitoisuuden lajikkeet sisältävät suuria määriä glukoosia, fruktoosia ja sakkaroosia ja hyvin vähän fruktaaneja, ja vastaavasti korkeamman kuiva-ainepitoisuuden lajikkeissa glukoosin ja fruktoosin määrä on alhainen ja fruktaanien määrä merkittävästi suurempi (Darbyshire ja Steer 1990). Suuresta kosteuspitoisuudesta (89–93 %) (Fenwick ja Hanley 1990) johtuen sipulin energiasisältö on alhainen: keskikokoisessa, 110 g painoisessa sipulissa on energiaa noin 40 kcal (Nonnecke 1989, Brewster 1994).

Sipuli sisältää 5–12 % hiilihydraatteja, 1–2 % proteiineja, 0,2 % rasvaa ja 0,6–1 % tuhkaa (Brewster 1994) ja monia ravinteita (taulukko 1).



Taulukko 1. Sipulin ravinnepitoisuuksia.

Ravinne	Riittävä pitoisuus sipulissa korjuuhetkellä (Huett ym. 1997)	Osuus tuorepainosta (Fink ym. 1999)	Peirce 1987
N	1,20–1,35 %	1,9 kg/t	
P	0,35–0,40 %	0,34 kg/t	39 mg/kg
K	1,70–1,85 %	2,0 kg/t	157 mg/kg
S	0,50–1,00 %*		
Ca	0,4–0,5 %		27 mg/kg
Mg	0,15–0,20 %	0,15 kg/t	
Na	0,29 %**		10 mg/kg
Cl	0,32–0,42 %		
Cu	5–10 mg/kg		
Zn	20–70 mg/kg *		
Mn	55–65 mg/kg *		
Fe	60–300 mg/kg *		0,5 mg/kg
B	25–45 mg/kg		
Mo	0,15–0,30 mg/kg *		

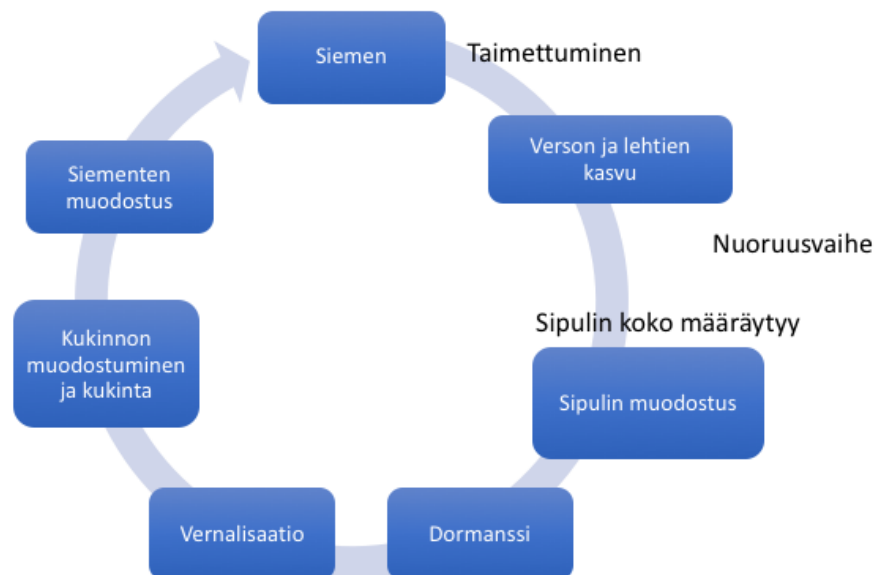
\* kasvuvaiheen pitoisuus

\*\* lehden pitoisuus

Sipulin satoindeksi on suuri, sillä optimaaliseen aikaan korjatuissa sipuleissa satoindeksi voi olla 80 % (Brewster 1994). Optimaalinen korjuuaika koittaa, kun 50–80 % sipulien ”niskoista” on pehmennyt ja lehdistö alkaa taittua (Brewster 1994). Mikäli optimaalinen sadonkorjuuaika ohitetaan, sipulin paino ja sipuliosan osuus kokonaispainosta kasvaa edelleen (Brewster ym. 1997). Tämän lisäksi myöhäinen sadonkorjuu sateisen kesän jälkeen heikentää sadon varastokestävyyttä (Suojala & Kallela 2001). Sipulisatoa ja sipulin kokoa voidaan säädellä myös istutustiheydellä, tavallinen istukkaiden istutustiheys on 30–80 istukasta / m<sup>2</sup> (Brewster 1994).

## 2.1 Sipulin kehitysrytmi ja sadonmuodostus

Sipulin kaksivuotisen kehitysrytmin vaiheet ovat vegetatiivinen kasvu, sipulin muodostus, dormanssi eli lepotila ja vernalisaatio eli kukintaan virittyminen sekä kukkiminen ja siementen muodostuminen (Brewster 1997) (kuva 2). Taimettuminen alkaa siemenen itämisellä sekä alkeisjuuren ja sirkkalehden pitenemisellä (Brewster 1997). Lämpötilan noustessa 0–25 °C taimettumisnopeus kasvaa lineaarisesti (Brewster 1997), kun maan kosteus on riittävä (Wheeler ja Ellis 1992). Itämisen jälkeinen kasvuvaihe on hidas verrattuna moniin muihin viljelykasveihin, sillä sipulin suhteellinen kasvunopeus lähes optimaalisessa lämpötilassa, 13–24 °C (Peirce 1987), on vain puolet kaalin tai salaatin kasvunopeudesta (Brewster 1994).



Kuva 2. Sipulin kehitysvaiheet. Muokattu lähteestä Brewster (1997).

Sipulin muodostusvaiheessa varren alaosa turpoaa sipuliksi, joka koostuu useista mehevistä, päällekkäisistä lehtiaihioista ja lehdettömistä varastosuomuista (Nonnecke 1989, Currah ym. 2012). Uloimmat lehdet sipulin ympärillä kuivuvat suomumaisiksi (Peirce 1987). Sipulin kasvaessa vanhimmat lehdet jäävät uloimmiksi ja nuoret lehdet puhkeavat kasvupisteestä vanhempia lehtiä ylemmäs (Nonnecke 1989). Lyhyt nuoruusvaihe päättyy, kun tarvittava lehtien lukumäärä tai sipulin kuivapaino on saavutettu (Brewster 1994) (kuva 2). Sipuliosan tuleentuessa uloimmat lehtikerrokset kuivuvat ohueksi, suojaavaksi kuoreksi. Samalla sipulin valevarsi eli ”niska” pehmenee ja lehdistö taittuu maata vasten (Brewster 1994).

Sipulin tuleentumista seuraa dormanssivaihe, jolloin biologinen aktiivisuus sipulissa vähenee, solujen jakautuminen hidastuu ja kasvua estävien inhibiittorien määrä lisääntyy (Brewster 1997, Currah ym. 2012). Jos muodostunutta sipulisatoa ei korjata syötäväksi sadoksi, vaan sipulit jätetään maahan tai varastoinnin jälkeen istutetaan uudelleen, sipuli kukkii toisena kasvuvuonna (Currah 1990). Sipuli tarvitsee vernalisaatiokokemuksen viileässä lämpötilassa virittyäkseen kukintaan (Brewster 1994) (kuva 2). Vernalisaatiovaiheen kesto ja sopiva lämpötila vaihtelee lajikkeittain ja olosuhteittain: pohjoiseurooppalaisille lajikkeille optimaalinen lämpötila on 9–12°C (Brewster 1997). Vernalisaatiovaiheen jälkeen varsi kasvaa nopeasti pituutta ja tuottaa lopulta tiiviin terttumaisen kukinnon (Brewster 1997). Kukinnossa on tavallisesti 200–

600 yksittäistä kukkaa (Brewster 1994), joista hyönteis- tai itsepölytyksen jälkeen kehittyy siemeniä.

## **2.2 Sipulin viljelyvaatimukset**

Sipulin viljelyyn soveltuvat kaikenlaiset maalajit: maailmalla sipulia viljellään hiekka-, savi-, ja turvepitoisilla sekä vulkaanisilla mailla (Bosch-Serra ja Currah 2002). Viljelyn kannalta paras maalaji on hyvärakenteinen, paljon orgaanista ainesta sisältävä hieta tai hiue (Bosch-Serra ja Currah 2002). Viljelyssä tärkeää on tasainen, homogeeninen maan pintakerros, jonka tiivistämistä ja kuorettumista tulisi välttää (Bosch-Serra ja Currah 2002). Sipuli ei sovellu viljeltäväksi suolaantuneilla mailla (Brewster 1994, Bosch-Serra ja Currah 2002).

Sipulille optimaalinen maan pH on 6–7 maalajista riippumatta (Peirce 1987, Brewster 1994), jopa 7,5–7,8 (Nonnecke 1989). Eloperäisillä mailla pH 5,5 on riittävä (Bosch-Serra ja Currah 2002). Tätä alhaisemmassa pH:ssa hivenravinteiden puutos tai alumiinin tai mangaanin myrkyllisyys voi alentaa sadon laatua ja määrää (Peirce 1987). Fosforin oton kannalta sipulille sopivin maan pH on 6,5–7,5 (Nonnecke 1989).

Sipulin juuristo on harva, säikeinen ja ontto, juuriston kasvu on heikkoa ja juurikarvoja on vähän (Bhat ja Nye 1974, Peirce 1987, Greenwood ym. 1982, Bosch-Serra ja Currah 2002). Juuristo on herkkä kuivuudelle ja kilpailee huonosti laajajuuristen rikkakasvien kanssa (Peirce 1987). Goltz ym. (1971) arvioivat sipulin juuriston vedenoton keskittyvän vain 25 cm syvyyteen juuriston tiheyden ollessa 0,2–0,6 cm/cm<sup>3</sup>. Juuriston haarojen maksimipituus oli 25 cm. Greenwoodin ym. (1982) mukaan 90 % sipulin juuristosta kasvoi alle 20 cm syvyydessä koko kasvukauden ajan.

Sipuli hyötyy säännöllisestä kastelusta koko kasvukauden ajan, mutta erityisesti sipulin muodostus- ja kasvuvaiheessa (Aura 1985, Peirce 1987, Nonnecke 1989). Tuleentumisen varmistamiseksi kastelua tulisi rajoittaa 2–3 viikkoa ennen sadonkorjuuta (Nonnecke 1989, Brewster 1994). Suojala ym. (2001) havaitsivat säännöllisen kastelun johtavan melkein kaksinkertaiseen sipulin hehtaarisatoon (49 000 kg/ha) kastelemattomaan kasvustoon verrattuna (28 000 kg/ha).

## 2.3 Sipulin ravinnetarve ja lannoituskäytännöt

Sipulin lannoituksen tulisi painottua kasvukauden alkuun, jotta typen (N), fosforin (P) ja kaliumin (K) saatavuus on kehittyvän juuriston kannalta riittävä (Henriksen 1987, Suojala ym. 2001). 2000-luvulla tehdyissä lannoituskokeissa Suomessa ja Baltiassa sipulin ravinteiden otto ja sato ovat olleet hyvin saman suuruisia (taulukko 2). Nopeimman kasvun vaiheessa heinäkuussa sipulin ravinteiden otoksi on mitattu 2–3 kg N /ha/vrk, 0,4–0,5 kg P /ha/vrk ja 3–4 kg K /ha/vrk (Salo ym. 2001).

Taulukko 2. Sipulin ravinteiden otto ja sato.

Typpi, kg/ha	Fosfori, kg/ha	Kalium, kg/ha	Sato, t/ha	lähde
101–167	17–28	86–137	33–47	Salo ym. 2001
119	23	111	28	Pire ym. 2002
117–166	18–28	110–136	40–50	Salo ym. 2002

Sekä sipulin typen tarve että typpilannoituksen vaikutus varastokestävyYTEEN ovat vaihdelleet eri vuosikymmenien aikana tehdyissä tutkimuksissa. Suomalaisissa viljelykokeissa (Aura 1985, Suojala ym. 1998) sipulisato ei kasvanut, kun typpilannoitus ylitti 50 kg N /ha. Auran (1985) ja Suojalan ym. (2001) mukaan yli 50 kg/ha N-lannoitus ei heikentänyt sadon varastokestävyYTtä tai lisännyt sipulien vetisyyttä tai nitraattipitoisuutta. Liettuassa optimilannoitustaso oli 60 kg N /ha sadon ollessa 28,9 t/ha (Cizauskas ja Viskelis 2002). Tätä suurempi N-lannoitus 180 kg N /ha asti ei lisännyt satoa, mutta sen sijaan heikensi varastokestävyYTtä. Tanskassa suurin sato 61,5 t/ha saatiin 120 kg N /ha lannoitustasolla (Henriksen 1987). Aura (1985) on esittänyt sipulin lannoitustarpeeksi 70 kg N /ha, kun tavoitellaan 25 t/ha satoa ja edellisvuotiset naatit on kynnetty peltoon.

Sipulin ja purjosipulin (*Allium porrum* L.) fosforin ja kaliumin tarve on suurempi kuin useimpien vihannesten (Greenwood ym. 1980). Kuitenkin tutkittaessa sipulin satovastetta fosforilannoitukseen eri lannoitusportaittain ei aina ole saatu selville optimaalista fosforilannoitustasoa. Fosforilannoituksen osalta satovasteita havaitaan yleisesti vain maan P-pitoisuuden ollessa alhainen. Boyhanin ym. (2007) kokeessa fosforilannoitteen tyyppi ja -taso eivät näkyneet satomäärissä tai sadon laadussa, mutta lannoituksen nosto 147 kg P /ha asti vähensi ylisuurien sipulien osuutta lineaarisesti maan luontaisen fosforipitoisuuden ollessa korkea ja P-lannoitussuosituksen ollessa 20 kg P /ha. Suojalan ym. (1998) kaksivuotisessa kastelu- ja lannoituskokeessa suurin

lannoitus (lannoitusportaat välillä 50–150 kg N /ha, 35–70 kg P /ha ja 70–190 kg K /ha) lisäsi satoa vain toisena koevuonna ja vain 3,3 t/ha verrattuna alimpaan lannoitustasoon, kokeen maan P-luokkaa ei oltu ilmoitettu sanallisesti. Typen tehokkaan mineralisaation arveltiin tehostavan ravinteiden ottoa alhaisilla P- ja K-lannoitustasoilla. Greenwoodin ym. (1980) eri vihanneksia ja viljelykasveja kattaneessa kokeessa sipulin optimilannoitustasoksi saatiin 105 kg P/ha kuiva-ainesadon ollessa 5,43 t ka/ha ja maan luontaisen P-pitoisuuden ollessa alhainen. Toisaalta joidenkin uudempien lannoituskokeiden perusteella on todettu, että nykyiset fosforilannoitusrajat ovat riittävät tai jopa tarvetta suuremmat sipulin fosforin ottoon nähden (Boyhan ym. 2007, Lee ym. 2012).

Myös starttilannoituksen hyödyistä on ristiriitaisia tuloksia. Siemenistä kylvetyille sipuleille annetun N- ja P-starttilannoituksen ei ole havaittu vaikuttavan satoon Englannissa (Brewster ym. 1991). Starttilannoitus kuitenkin lyhensi kasvukautta nopeuttaen taimettumista. Sen sijaan Tanskassa saatiin päinvastainen tulos: sijoitettu N- ja P-starttilannoitus lisäsi satoa ja aikaisti tuleentumista 6–7 vuorokautta, mutta ei nopeuttanut taimettumista (Henriksen 1987). Uudempi tanskalainen tutkimus (Sorensen 2013) suosittaa P-starttilannoituksen sijoittamista 4–5 cm päähän siemenestä, jotta lannoite ei vahingoita siementä. Typeä sisältävät starttilannoitteet vioittivat siemeniä enemmän kuin typettömät lannoitteet. P-starttilannoitus nosti satoa kolmena vuonna viidestä ja sopivin P-lannoitusmäärä oli 44 kg P/ha. Bosch-Serra ja Currah (2002) sen sijaan toteavat kasteluveden mukana annetun tai maahan lähelle juuristoa sijoitetun typen starttilannoituksen olevan hyviä keinoja varmistaa sipulin ravinteiden saanti varhaisessa kasvuvaiheessa. Boyhan ym. (2007) puolestaan eivät havainneet N-lannoitteen antomuodon vaikuttavan satomäärään.

Lannoitusmenetelmistä sijoituslannoitus voi tuottaa tasaisemman sipulikasvuston ja aikaistaa tuleentumista hajalevitykseen verrattuna (Henriksen 1987). Sijoituslannoitusta käytettäessä fosforimääräksi riittää puolet hajalevityksellä annettavan fosforin määrästä (Henriksen 1987). Jos sipulikasvustoa kastellaan muuten säännöllisesti, kastelulannoitus ei tehosta sipulien ravinteiden ottoa verrattuna hajalevitykseen (Salo ym. 2002). Lannoituksen jakaminen yli kolmeen lannoituskertaan ei lisää satoa tai paranna sadon laatua (Lee ym. 2012).

### 3 FOSFORI

Fosfori on kaikelle elolliselle elämälle välttämätön alkuaine ja kasvien kasvun sekä sadonmuodostuksen kannalta yksi tärkeimmistä ravinteista. Fosforia ei voi kasvinravitsemuksessa korvata muilla ravinteilla. Koska fosforia louhitaan pääosin uusiutumattomista varannoista, näiden varantojen riittävyys, saatavuus ja puhtaus tulevat olemaan ruoantuotannon jatkumisen kannalta tärkeitä edellytyksiä; uhkana on, että jatkossa jouduttaneen louhimaan fosfaattikiveä, jonka raskasmetallipitoisuudet ovat nykyistä suurempia (Smil 2000, Van Vuuren ym. 2010). Väestönkasvu, maitotuotteita ja lihaa sisältävän ruokavalion yleistyminen kehittyvissä maissa, kuten Kiinassa ja Intiassa, sekä biopolttoaineiden tuotanto lisäävät fosforin kysyntää tulevaisuudessa (Cordell ym. 2009). Maatalouden osuus fosforintarpeesta onkin merkittävä: 80 % louhittavasta fosforista käytetään ruoantuotantoon (Van Vuuren ym. 2010). Kierrättämällä virtsan ja lannan sisältämää sekä kasvinjätteisiin kertyvää fosforia nykyistä tehokkaammin voitaisiin vähentää riippuvuutta fosforilannoitteista ja vähentää uusiutumattomien fosforivarantojen louhimista lannoitekäyttöön.

Fosforin louhintamäärien on ennustettu saavuttavan huippunsa jo 2030–2040-luvuilla (Cordell ym. 2009). 2100-luvun alussa P-varannoista voi optimistisen arvion mukaan olla jäljellä vielä 80–90 %, tai jos fosforin louhinta jatkuu nykyisellä tasolla, varannoista voi olla sadan vuoden kuluttua jäljellä alle 50 % (Van Vuuren ym. 2010). Fosforivarantojen tarkka arviointi on hankalaa, sillä riippumatonta tilastointia varojen suuruudesta ja louhintamääristä ei ole (Gilbert 2009). Osa fosforivarannoista on hankalasti hyödynnettävissä joko vaikean sijainnin, alhaisen fosforipitoisuuden tai korkean raskasmetallipitoisuuden takia. Huonolaatuisten varantojen puhdistus vapauttaa raskasmetalleja ja voi nostaa tuotantokustannuksia sekä lannoitteiden hintoja merkittävästi (Gilbert 2009, Van Vuuren 2010). Viimeisin fosforilannoitteiden hintapiikki nähtiin viimeksi kymmenen vuotta sitten, 2007–2008, kun hetkellinen kysyntäpiikki nosti hintoja 700 % (Cordell ym. 2009).

Toisin kuin hiilestä, rikistä tai typestä, fosforista ei muodostu pitkäkestoisia kaasumaisia yhdisteitä ilmakehään (Smil 2000), eikä fosfori kierrä samalla tavalla takaisin maaperään laskeutuen ilmasta kuten rikki tai biologisen typensidonnan kautta kuten typpi. Fosforin luontainen mobilisaatio on hidasta ja maaperässä liukoinen fosfori muuttuu nopeasti vähemmän liukoiseen muotoon ja lopulta käytännön viljelyn kannalta käyttökelvottomaksi varannoksi (Smil 2000). Siten ihmisen vauhdittama fosforin

kiertokulku on yksisuuntainen: louhinta, kuljetus ja lannoitus siirtävät fosforia viljelymaihin, joista ylimääräinen fosfori kulkeutuu pintavalunnan tai eroosion kautta vesistöihin. Valtaosa ruoan sisältämästä fosforista kulkee ihmisen elimistön läpi ja kulkeutuu puhdistamattomien jätevesien kautta vesistöihin. Meriin päätynyt fosfori hautautuu lopulta pohjan sedimenttikeroksiin (Smil 2000).

Vesistöissä fosfori on usein eniten kasvua rajoittava ravinne (Smil 2000), ja vesistöihin päätyessään fosfori aiheuttaa rehevöitymistä (Van Vuuren ym. 2010). Suomessa maatalous on suurin fosforin (noin 60 %:n osuudella) ja typen (noin 50 %:n osuudella) antropogeeninen päästölähde (Vuorenmaa ym. 2002), vaikka maatalousmaan osuus Suomen maa-alasta on pieni, 6 % (SVT 2017).

Vaikka vihannesviljelyn osuus viljellystä pinta-alasta Suomessa oli vain 0,8 % vuonna 2017 (SVT 2018), vihannesviljelyssä käytetyt lannoitemäärät pinta-alaa kohden ovat suuret. Siten lannoituksen kohdentaminen oikein on erityisen tärkeää vihannesviljelyssä, jotta vältetään liiallista fosforilannoitusta. Koska Suomessa ympäristökorvauksen (entisen ympäristötuen) sallimat enimmäismäärät ovat korkeampia kuin muissa Pohjoismaissa yleisesti (Valkama ym. 2011), ja myös vihanneksilla (Suojala-Ahlfors 2017), nykyisistä fosforilannoituskäytännöistä saatuja hyötyjä pitäisi tarkastella kriittisesti. Lannoitussuunnitelmien tulisi perustua maa-analyyseilla todettuun tarpeeseen ja olla kerryttämättä maaperän fosforivarantoja liiaksi.

### **3.1 Fosfori kasvinravinteena**

Fosfori edistää juurten kehitystä, kasvin kasvua ja kukkimista sekä tehostaa hedelmien kypsymistä ja siementen kehitystä (Nonnecke 1989, Smil 2000). Fosfori toimii ribonukleiinihapon (RNA) ja deoksiribonukleiinihapon (DNA) rakennusosana muodostaen pyrofosfaattisiltoja makromolekyylien eri osien välille (Hawkesword ym. 2012). Fosforia on runsaasti myös solukalvojen rakenteessa fosfolipideissä, joissa fosforiesterisillat yhdistävät diglyseridin alkoholi-, aminohappo- tai amiinimolekyyliin (Hawkesword ym. 2012). Fosforia tarvitaan myös solunjakautumisessa ja meristemaattisen solukon muodostuksessa (Brady & Weil 2017). Fosfori puskuroi solunsisäistä pH:ta (Sanchez 2007). Fosforin varastointimuoto siemenissä on fytiaatti (Mengel ja Kirkby 2001, Sanchez 2007). Itävissä siemenissä fytiaatti toimii fosforin lähteenä membraanien ja nukleiinihappojen muodostuksessa (Mengel ja Kirkby 2001).

Fosfori vaikuttaa keskeisesti kasvien energiatalouteen. Solussa energian siirtoon ja varastointiin tarvittavan adensiinitrifosfaatin (ATP) kyky varastoida ja luovuttaa energiaa perustuu pyrofosfaattisidoksiin. Solussa energiaa voidaan sitoa fosforylaatiolla eli fosfaatin liitoksella ATP:ksi tai vapauttaa irrotuksella adensiinidifosfaatiksi (ADP) (Sanchez 2007). Energiapitoisen fosfaattisidoksen hydraloituminen vapauttaa energiaa noin 30 kJ /mol ATP (Mengel ja Kirkby 2001, Hawkesword ym. 2012).

### **3.2 Fosforin puutosoireet**

Fosforin puutosoireet muistuttavat typen puutosoireita heikentyneen kasvun osalta (Barker ja Pilbeam 2007). Vakavasta fosforinpuutoksesta kärsivät kasvit näyttävät kitukasvuisilta (Brady & Weil 2017) ja kasvavat jäykästi pystyssä (Mengel ja Kirkby 2001). Fosforinpuutos heikentää myös hedelmien ja siementen muodostumista ja sadon laatua (Mengel ja Kirkby 2001). Fosforinpuute heikentää version kasvua enemmän kuin juuriston kasvua, mikä voidaan havaita muutoksena version ja juuriston kuivapainojen suhteessa (Brewster ym. 1975, Fredeen ym. 1989).

Fosforinpuutos näkyy lehtien punertavana, tummanvihreänä tai etenkin aikaisessa kasvuvaiheessa nuorten lehtien sinivihreänä värinä, joka puutostilan jatkuessa voi syvetä liilänväriseksi (Nonnecke 1989, Mengel ja Kirkby 2001, Sanchez 2007). Punertava väri johtuu lisääntyneestä antosyaanien muodostuksesta (Mengel ja Kirkby 2001, Barker ja Pilbeam 2007). Fosforin puutostilassa punertava väri näkyy lehtisuonten välissä, mutta typen puutostilassa punertavuus etenee suonien pitkin (Barker ja Pilbeam 2007). Lehtien tumma väri on seurausta lehden heikentyneestä pituus- ja leveyskasvusta: kloroplasti- ja klorofyllimäärä on ikään kuin tiivistynyt pienemmälle lehtialalle (Fredeen ym. 1989). Koska fosfori liikkuu kasvilla hyvin, sen puutos näkyy ensin vanhemmissa lehdistä (Barker ja Pilbeam 2007, Brady & Weil 2017) ja on joskus havaittavissa lehtien kloroosina tai nekroosina (Sanchez 2007). Lehdet myös vanhenevat ennenaikaisesti (Mengel ja Kirkby 2001).

### **3.3 Fosforin otto maaperästä**

Maaperässä suurin osa kasveille käyttökelpoisesta fosforista on adsorboituneena ortofosfaattina  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ - tai  $\text{HPO}_4^{2-}$ -muodossa (Mengel ja Kirkby 2001, Sanchez 2007). Maaperän fosfori voidaan jakaa saatavuuden mukaan kolmeen pooliin: maanesteen fosforiin, labiiliin pooliin ja stabiiliin pooliin (Mengel ja Kirkby 2001). Näistä



maanesteen sisältämä fosfori on liukoista ja kasveille heti käyttökelpoista. Usein yli 90 % fosforista on muodossa, joka ei ole käyttökelpoista yhden tai muutaman kasvukauden aikana, ja on osin liukenemattomassa muodossa ja sitoutuneena primäärisiin fosfaattimineraaleihin (pääasiassa apatiittimineraalina) sekä sitoutuneena humukseen (Mengel ja Kirkby 2001). Hydratoituneiden kalsiumin, raudan ja alumiinien oksidien ja silikaattimineraalien murtopintojen pidättämää fosforia vapautuu maanesteeseen maanesteen fosforipitoisuuden laskiessa. Labiilin poolin fosfori voi vapautua kasvien käyttöön desorptiolla hiukkaspinnoilta (pääosin raudan tai alumiinin yhdisteiden pinnoille pidättyneestä jakeesta), pelkistymällä (hapettomissa oloissa rauta- ja mangaanioksidien liuetessa), ja hyvin hitaasti myös raudan ja alumiinin kanssa saostuneesta fosforista sekä mikro-organismien hajotuksen avulla orgaanisesta aineksesta (Mengel ja Kirkby 2001). Maanesteen ja labiilin poolin välillä vallitsee herkkä tasapainotila, jota maa pyrkii ylläpitämään. Labiilista poolista fosforia vapautuu maanesteeseen, mikäli esimerkiksi juurten tai mikro-organismien fosforin otto vähentää maanesteen P-pitoisuutta (Mengel ja Kirkby 2001). Vastaavasti äkillinen fosforin lisäys maanesteeseen esimerkiksi lannoituksen myötä tasaantuu osan maanesteen fosforista siirtyessä labiiliin pooliin. Maan kemiallisesta koostumuksesta riippuva puskurikyky säätelee tätä tasapainoa (Sanchez 2007).

Kasvit ottavat epäorgaanista fosforia pH:sta riippuen joko  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ - tai  $\text{HPO}_4^{2-}$ -muodossa (Sanchez 2007, Hawkesword ym. 2012). Hyvin happamassa maassa esiintyy enemmän  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ -anionimuotoista fosforia, emäksisessä maassa  $\text{HPO}_4^{2-}$  on yleisempi (Mengel ja Kirkby 2001, Brady & Weil 2017). Fosforin otto maanesteestä on aktiivista, sillä maanesteen fosforikonsentraatio on sata tai tuhat kertaisesti alhaisempi kuin juuriston solujen fosforikonsentraatio (Mengel ja Kirkby 2001). Kasvin juuret absorboivat fosfaattia nopeasti ja juurten lähellä fosfaattipitoisuus on alempi kuin maanesteessä keskimäärin (Mengel ja Kirkby 2001). Tämä luo maanesteeseen konsentraatiogradientin, joka säätelee fosfaatin diffundoitumista juuriston saataville (Mengel ja Kirkby 2001). Käytännössä kasvin juuriston on kasvettava fosforin luo, sillä maanesteen alhaisesta fosforipitoisuudesta johtuen massavirtaus on kasveille harvoin merkittävä fosforin ottomuoto (Mengel ja Kirkby 2001).

Fosforin kyllästysaste kuvaa tilannetta, jossa negatiivisesti varautuneet fosfaatti-ionit vähitellen tunkeutuvat maapartikkelien sisään. Negatiivisesti varautuneiden fosfaatti-ionien pidättyminen muuttaa maapartikkelien pintavarausta (Barrow 2015). Kun negatiivinen varaus partikkelien pinnalla on kasvanut suureksi, reaktio hidastuu ja maan

kyky pidättää lisättyä fosforia vähenee. Maapartikkelien pinnan negatiivisen varauksen kasvu tekee negatiivisesti varautuneiden ionien lähestymisen vaikeammaksi sähköisen hylkimisen takia. Silloin fosforin diffuusio kasvin juuriin tehostuu ja seuraavat fosforilannoituskerrat ovat kasveille tehokkaita (Barrow 2015). Tällöin fosforilannoitus voidaan alentaa tasolle, jossa korvataan vain edellisessä sadossa poistunut fosforimäärä (Barrow 2015). Kun fosforin kyllästysaste on korkea, maassa on riittävästi kasveille käyttökelpoista fosforia, ja fosforilannoitusta ei tarvitse tehdä joka vuosi.

### **3.4 Sipulin fosforinotto**

Bhat ja Nye (1974) vertasivat sipulin ja rapsin (*Brassica napus* L.) fosforin ottoa ja huomasivat, että sipulin juuristoon ei muodostunut juurikarvoja ja fosforin otto oli hitaampaa ja vähäisempää rapsiin verrattuna. Sipulin fosforin otto jatkui pidempään kuin rapsin ja juuristoa ympäröivä vyöhyke, jolta juuret ehdyttivät fosforia, oli sipulilla pienempi kuin rapsilla (Bhat ja Nye 1974). Erot selittyivät juuriston eroilla; rapsi kasvattaa paljon juurikarvoja ja siten juuriston suurempi tilavuus ja pinta-ala mahdollistavat suuremman diffuusion kuin sipulilla.

Mykorritsan eli sienijuuren vaikutuksista sipulikasvien fosforin ottoon on monenlaisia tuloksia. Kasvukaapissa tehdyssä kokeessa (Sanders ja Tinker 1973) sipulin juuriston infektoiminen arbuskelimykorrhizalla nelinkertaisti juuriston fosforinoton ja tehosti kasvua infektoimattomiin juuriin verrattuna. Purjon viljelykokeessa (Sorensen ym. 2005) taimen P-pitoisuus oli alhaisempi kaalin (*Brassica oleracea* L.) ollessa esikasvina kuin mykorritsasymbioosin muodostavien porkkanan tai purjon ollessa esikasvina. *Brassica*-sukuiset kasvit eivät muodosta mykorritsasymbioosia. Sen sijaan maan fosforipitoisuuden ollessa korkea mykorritsa ei lisännyt purjosipulin kasvua tai satoa, koska kasvin fotosynteesikapasiteetti ei riittänyt korvaamaan mykorritsan kuluttamia fotosynteesituotteita. Myöhemmässä kokeessa (Sorensen ym. 2008) purjon kasvu tehostui, kun istukkaat esikäsiteltiin mykorritsalla ennen maahan istuttamista ja maan P-pitoisuus oli kohtalainen.

Harvasta juuristosta huolimatta sipulin ravinteiden otto on yhtä tehokasta kuin muiden avomaan vihannesten. Salo ym. (2002) määrittivät sipulin fosforin onton, 18–28 kg P/ha, olevan samalla tasolla kuin porkkanan fosforin onton, 23–30 kg P/ha, vaikka sipulin satotaso, 40–50 t/ha, oli puolet kaalin ja porkkanan sadosta, 90 t/ha. Kaalin fosforin otto oli hieman muita runsaampaa, 36–40 kg P/ha.

Sipulin fosforilannoitustarvetta ei siis voi päätellä vain vertaamalla satotasoa muiden vihannesten ravinteiden ottoon ja satoon. Typpilannoituksen osalta suomalaiset enimmäislevitysmäärät (Mavi 2015) vastaavat jo aika hyvin vihannesten todellista typen ottoa, mutta fosforin osalta tutkimustietoa ei ole ollut saatavilla yhtä paljon.

## 4 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää sipulin kasvua ja fosforin ottoa eri lannoitustasoilla maan fosforipitoisuuden ollessa korkea tai välttävä. Samalla haluttiin tutkia, voidaanko kasvukauden aikana tehdyillä kasvusto- ja maaperämittauksilla luotettavasti seurata sipulien ravinteiden ottoa ja tunnistaa mahdollisia fosforinpuutoksen oireita. Lisäksi seurattiin maanesteen liukoista fosforia vastaavan hyvin helppoliukoisen fosforin pitoisuuden muutosta maassa juuriston kasvualueella eri lannoitustasoilla kasvukauden edetessä.

Hypoteesit olivat seuraavat:

- 1) fosforilannoitus lisää sipulien kasvua ja ravinnepitoisuutta;
- 2) fosforilannoitus lisää sadon ravinnepitoisuutta;
- 3) fosforilannoitus parantaa sadon laatua ja määrää;
- 4) erot maanesteen fosforipitoisuuksissa eri lannoitustasoilla näkyvät kasvuston fosforipitoisuudessa ja sadon määrässä.

## 5 AINEISTO JA MENETELMÄT

### 5.1 Koejärjestelyt

Koe toteutettiin Luken Piikkiön toimipisteessä (60°23'N, 22°30'E, 6 m meren pinnan yläpuolella) kasvukaudella 2014 lohkoittain satunnaistettuna kenttäkokeena, jossa oli neljä lohkoa. Lajikkeena oli yleisesti Suomessa viljelty 'Setton', jonka istukkaan kokoluokka oli 17/21. Istukkaiden toimittaja oli Laitilan Länsi-Jyvä Oy (Laitila, Suomi). Kokeessa tutkittiin sipulin fosforin ottoa neljällä lannoitusmäärällä kahdella eri maalajilla (runsasmultainen karkea hietä, fosforia 33–42 mg/l, sekä runsasmultainen hiuesavi, fosforia 4,9–6,7 mg/l). Toukokuussa ennen lannoitusta hietamaan pH oli 7,3–7,5 ja savimaan pH oli 5,8–6. Esikasvina molemmilla peltolohkoilla oli kevätevehnä.

Sipulit istutettiin koeruutuihin neljään riviin (riviväli 30 cm, sipulien etäisyys rivissä 7 cm, 57 istukasta / m<sup>2</sup>) (liite 1). Koeruudun pinta-ala oli 9 m<sup>2</sup> ja yhden kokeen kokonaispinta-ala oli 162 m<sup>2</sup> (13,5 m x 12 m). Sipulit istutettiin savimaalle 8.–9.5. ja hietamaalle 9.5. Sipulien kasvu aika oli savimaalla 13 viikkoa ja 5 päivää ja hietamaalla 14 viikkoa ja 4 päivää.

#### 5.1.1 Lannoitus ja kasvinsuojelu

Koealojen lannoitus suunnitelman pohjana oli keväällä 2014 tehty viljavuusanalyysi (Eurofins Viljavuuspalvelu Oy, Mikkeli) (liite 2). Molemmilla koelohkoilla valittu korkein fosforilannoitustaso oli ympäristötuen (nyk. ympäristökorvauksen) salliman enimmäismäärän suuruinen tai korkeampi ja alimmalla tasolla fosforilannoitusta ei annettu lainkaan. Runsasmultaisen karkean hietamaan fosforiluokka oli korkea ja lannoitustasoiksi asetettiin 0, 5, 15 ja 30 kg fosforia /ha (ympäristötuen sallima enimmäismäärä P-luokassa korkea 30 kg/ha). Runsasmultaisella hiuesavella maa-analyysiin perustuva fosforiluokka oli välttävä, joten fosforilannoitustasoiksi säädettiin 0, 20, 50 ja 100 kg fosforia /ha (ympäristötuen sallima enimmäismäärä P-luokassa välttävä 80 kg/ha). Muita ravinteita annettiin kaikille lohkoille saman verran (taulukko 3). Lannoitustarpeen laskennasta vastasi Yara Suomi Oy.

Peruslannoitus, joka sisälsi myös fosforilannoituksen eri tasoilla, annettiin molemmille koepaikoille 7.5. (taulukko 3). Lannoiterakeet muokattiin maahan 10 cm syvyyteen traktorilla jyrsimällä. Typeä, kaliumia ja rikkiä sisältänyt täydennyslannoitus annettiin

19.6. (taulukko 3). Yleisimpien kasvitautilien ja tuholaisten torjumiseksi istukkaat lämpökäsiteltiin ja peitattiin ennen istutusta ja kasvusto ruiskutettiin kasvukauden aikana neljästi (taulukko 4).

Taulukko 3. Koealueiden lannoitusmäärät ravinteittain ja käytetyt lannoitevalmisteet.

Käsittely	Lannoitevalmiste	Käyttömäärä kg/ha	N kg/ha	P kg/ha	K kg/ha	S kg/ha
Koko alue	Hivenravinneseos*	250	0	0	0	0
0 P Hieta	Tärkkelysperunan NK	571	80	0	120	63
5 P Hieta	Tärkkelysperunan NK	571	80	0	120	63
	Starttiravinne	22	2	5	0	
15 P Hieta	Tärkkelysperunan NK	525	74	0	110	58
	Starttiravinne	65	7	15	0	
30 P Hieta	Puutarhan Y3	636	70	32	115	64
	Suomensalpietari	32	10	0	0	1
0 P Savi	Tärkkelysperunan NK	571	80	0	120	63
20 P Savi	Tärkkelysperunan Y1	500	60	20	85	50
	Kaliumsulfaatti	90	0	0	36	15
	Suomensalpietari	74	20	0	1	3
50 P Savi	Puutarhan NK2	444	40	0	124	61
	Starttiravinne	220	26	51	0	0
	Suomensalpietari	50	13	0	0	2
100 P Savi	Starttiravinne	434	52	100	0	
	Puutarhan NK2	333	30	0	93	46
	Kaliumsulfaatti	67	0	0	27	11
Suoja-alueet	Hietamaalla:					
	Tärkkelysperunan NK	525	74	0	110	58
	Starttiravinne	65	7	15	0	0
	Savimaalla:					
	Puutarhan NK2	444	40	0	124	61
	Starttiravinne	220	26	51	0	0
	Suomensalpietari	50	13	0	0	2
Täydennys- lannoitus annettu 19.6	Puutarhan NK2	300	27	0	84	41

(N=typpi, P=fosfori, K=kalium, 0-100 P =koeruutujen fosforilannoitustaso)

(\*Hivenravinneseos sisälsi 28 kg Ca /ha, 8 kg vesiliukoista Ca /ha, 13 kg Mg /ha, 43 kg S /ha, 1 kg B /ha, 3 kg Cu /ha, 1 kg Fe /ha, 5 kg Mn /ha, 1 kg Mo /ha, 2 kg Zn /ha)

Taulukko 4. Sipulille annetut kasvinsuojeluainekäsittelyt kasvukaudella 2014.

Pvm	Kasvinsuojelukäsittely	Käyttötarkoitus
28.4.	lämpökäsittely 40°C 24 h	Naattihomeen ( <i>Peronospora destructor</i> ) ennaltaehkäisy
6.5.	0,2 % Topsin M (tiofanaatti-metyyli, 700 g/kg) ja 0,1 % Roxion (dimetoaatti, 400 g/l).	Sipulikärpäsen ( <i>Delia antiqua</i> ) ja sienitautien torjuminen
30.5.	0,5 % Fenix (aklonifeeni, 600 g/l) traktorilevitys	Rikkakasvien torjunta
19.6.	0,2 % Fenix (aklonifeeni, 600 g/l) levitys reppuruiskulla	Rikkakasvien torjunta
7.8.	0,5 % Bioruiskute S (pyretriinit, 100 g/l)	Sipulikoin ( <i>Acrolepiopsis assectella</i> ) torjunta

### 5.1.2 Kastelu

Koealueita kasteltiin päältäsadettamalla kahdella pyörivällä sadettimella (Bayer Sprinkler Svc, Big Lake, MN, Yhdysvallat) koealaa kohden. Koealueita sadetettiin kastelutarpeen mukaan erikseen maalajin ominaisuudet huomioiden (taulukko 5). Sadetustarpeen arviointi tehtiin 20 cm:n syvyyteen asetettujen tensiometrien (TM-93, Nieuwkoop BW, Aalsmeer, Hollanti) avulla kynnysarvona -0.3 bar. Tyypillinen sadetusmäärä oli 15–25 mm / koeala / sadetuskerta.

Taulukko 5. Kuukausittaiset sadetus- ja sadantamäärät kasvukaudella 2014 ja sadantakeskiarvot 1981–2010 Ilmatieteen laitoksen Yltöisten säähavaintoasemalla.

	Sadetus, mm		Sadanta, mm	
	Hieta	Savi	2014	1981-2010
huhtikuu	0	0	18	32
toukokuu	31	28	21	37
kesäkuu	17	22	77	55
heinäkuu	36	66	44	79
elokuu	25	20	216	80
huhti-elokuu	109	136	376	283

## **5.2 Kasvustonäytteet**

Fosforilannoituksen tasoerojen arveltiin näkyvän jo kasvukaudella sipulin lehtien kasvunopeudessa. 10.6. laskettiin sipulien yli 3 cm pitkien lehtien lukumäärä ja maksimikorkeus. Mittaukset tehtiin 16 kasvista, jotka sijaitsivat koeruudun toisessa rivissä 20 cm etäisyydellä toisistaan.

Lehtien ravinnepitoisuuksien selvittämiseksi jokaisesta koeruudusta otettiin lehtinäytteet nuorimmista täysikokoisista lehdistä 17.6. kasvuston ollessa 5-lehtiasteella. Näytteitä otettiin 100–150 g / ruutu. Näytteet analysoitiin Yaran laboratoriossa Englannissa.

## **5.3 Sadonkorjuu ja sato**

Savimaan sipulit nostettiin 13.8. kaikkien sipulien tuleennuttua, mutta lehtien ollessa vielä varsin vihreitä. Hietamaan sipulit nostettiin 19.8. Sipulit kerättiin koeruutujen kahdesta keskimmäisestä rivistä jättäen ruudun kumpaankin pätyyn 0,5 m:n suoja-alueet, joista sipuleita ei kerätty. Jokaisesta koeruudusta otettiin punnituksen yhteydessä erilleen 15 sipulia ravinneanalyysijä varten. Muu sipulisato punnittiin ja kuivattiin lavakuivurissa noin neljän viikon ajan. Kuivauksen jälkeen sipuleista poistettiin kuivuneet lehdet ja irtokuoret sekä eroteltiin kasvitautilien vioittamat sipulit. Kauppakelpoisten ja pilaantuneiden sipuleiden lukumäärät laskettiin ja painot punnittiin koeruuduittain.

## **5.4 Ravinneanalyysit**

### **5.4.1 Sipulien ravinteet**

Ravinneanalyysiin valitut sipulit (15 kpl/koeruutu) huuhdottiin ja niiden yhteispaino punnittiin. Lehdet irrotettiin ja sipulien sekä lehtien kokonaispainot punnittiin. Jokaisesta sipulista neljäsosa silputtiin. Lehdistä pilkottiin suurin osa kärkiä lukuun ottamatta silpuksi. Sipuli- ja lehtisilput kuivattiin lämpökaapissa paperipusseissa n. 60 °C:n lämpötilassa. Kun näytteiden paino ei enää vähentynyt, kuivapainot punnittiin ja näytteet toimitettiin analysoitavaksi Luken Jokioisten toimipisteessä.

Kuivatuista näytteistä mitattiin typpipitoisuus Kjeldahl-menetelmällä (Kirk 1950). Fosfori-, kalsium-, magnesium-, kalium-, natrium- ja hivenravinnepitoisuudet selvitettiin liuottamalla näytteet kuningasveteen märkäpolttoa varten. Pitoisuudet mitattiin ICP-AES:llä (inductively coupled plasma-atomic emission spectrometer) (Thermo Jarrel Ash Corp., Franklin, MA, Yhdysvallat).

#### 5.4.2 Maan viljavuus

Maan ravinnepitoisuuksien selvittämiseksi koeruuduista otettiin maanäytteet maakairalla (12 pistoa / koeruutu) 20 cm:n syvyyteen asti (liite 4). Näytteet otettiin ennen koeruutujen lannoitusta 5.–6. toukokuuta ja heti sadonkorjuun jälkeen 21. elokuuta. Viljavuuspalvelussa näytteistä määritettiin maalaji, multavuus, pH, johtoluku, fosfori-, kalium-, kalsium-, magnesium- ja rikkipitoisuus.

#### 5.4.3 Maan liukoinen fosfori

Maan liukoisen fosforin pitoisuutta seurattiin ottamalla kerran viikossa maanäytteet tilavuuspainolieriöillä 0–10 cm:n syvyydestä jokaisesta maksimimäärän fosforia saaneesta koeruudusta ja jokaisesta ilman fosforilannoitusta jätetystä kontrollikoeruudusta, yhteensä kahdeksan näytettä / koe. Näytteistä uutettiin vakuumiuttolaitteella (SampleTek Programmable Vacuum Extractor Model 24 VE (Version 3,01) Mavco Industries Inc., Science Hill, KY, Yhdysvallat) ionivaihdetulla vedellä 10 ml uuttonäytteet, jotka suodatettiin 0,4 mm suodattimen läpi käsin ja pakastettiin heti uuton jälkeen. Näytteet analysoitiin Lukella Jokioisilla LaChat QC 8000 -analysaattorilla (LaChat Instruments, Wisconsin, MI, Yhdysvallat). Analysointimenetelmänä käytettiin niin kutsuttua molybdeenisini-menetelmää, jossa fosfori muodostaa ammoniummolybdaatin kanssa sinivioletin väriyhdisteen, kun siihen lisätään askorbiinihappoa pelkistimeksi. Saadun sinisen värin intensiteetti mitataan 880 nm:n aallonpituudella (Murphy ja Riley 1962).



## 5.5 Kasvukauden sääolot

Kasvukausi 2014 oli lämpötiloiltaan vaihteleva (taulukko 6). Kesäkuu oli viileä, juhannuksen tienoilla vuorokauden minimilämpötila laski lähelle 0 °C. Heinä-elokuussa koettiin pitkiä hellejaksoja. Elokuussa oli muutamia hyvin sateisia päiviä ja suurin vuorokauden aikana satanut sademäärä (49,6 mm) mitattiin elokuussa (taulukko 5).

Taulukko 6. Kuukausittainen vuorokauden keskilämpötilan keskiarvo kasvukaudella 2014 ja 1981–2010 Ilmatieteen laitoksen Yltöisten säähavaintoasemalla.

	Keskilämpötila, °C	
	2014	1981–2010
huhtikuu	4,9	3,7
toukokuu	9,9	9,8
kesäkuu	13,3	14,3
heinäkuu	19,4	17,2
elokuu	17,1	15,8
huhti-elokuu	12,9	12,2

## 5.6 Aineiston tilastollinen käsittely

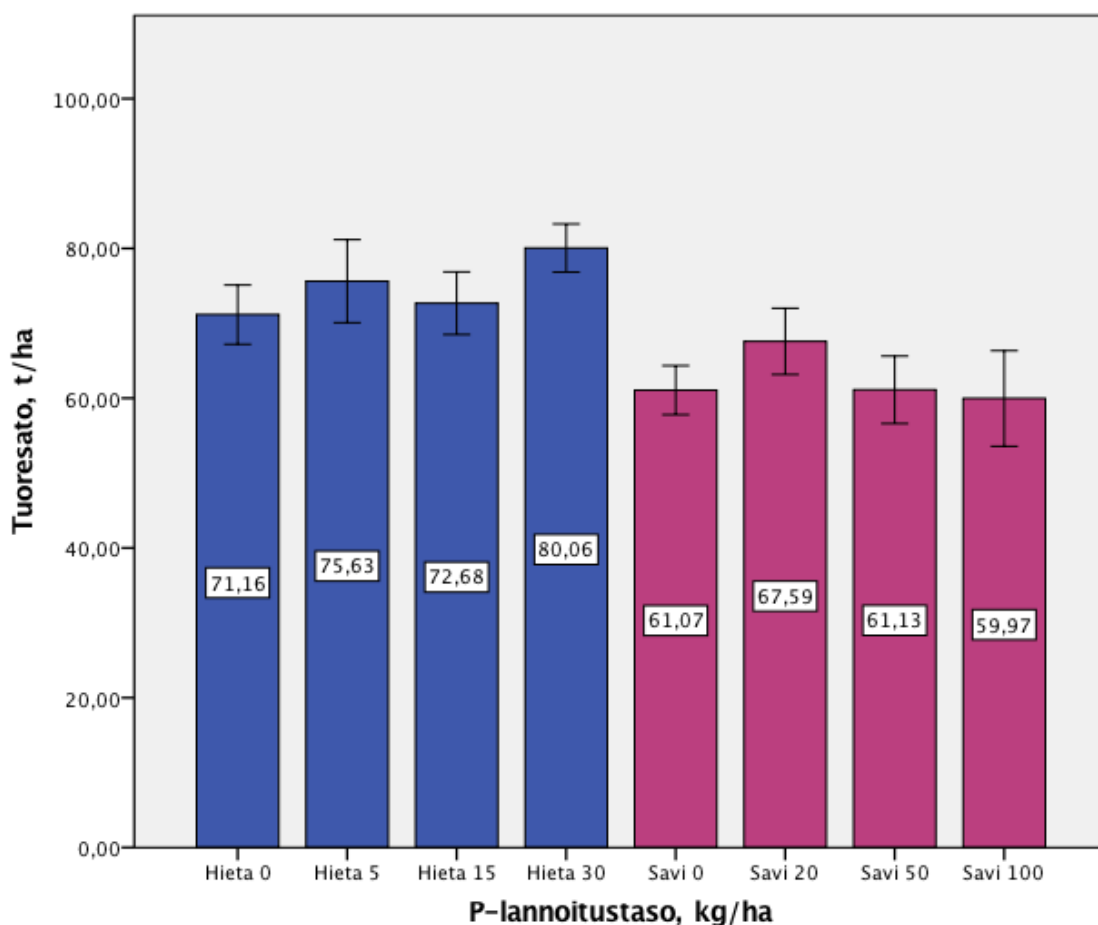
Lohkoittain satunnaistetun kokeen aineisto analysointiin käyttäen yksisuuntaista varianssianalyysiä, jossa selittävänä muuttujana oli lannoitustaso. Jos lannoituksen vaikutus oli merkitsevä, post hoc -testinä käytettiin Dunnett'n testiä, jossa muita fosforilannoituskäsittelyitä verrattiin lannoittamattomaan kontrolliin (merkitsevyystaso  $p < 0,05$ ). Maan liukoisen fosforin pitoisuus analysoitiin kaksisuuntaisella varianssianalyysillä (selittävinä muuttujina olivat lannoitustaso ja aika) ja Bonferroni-korjauksella. Analysointiin käytettiin IBM:n SPSS-tilasto-ohjelmaa (Statistics for Macintosh, Version 24.0., IBM Corp. Armonk, NY, Yhdysvallat).

## 6 TULOKSET

### 6.1 Sipulisato

#### 6.1.1 Tuoresato

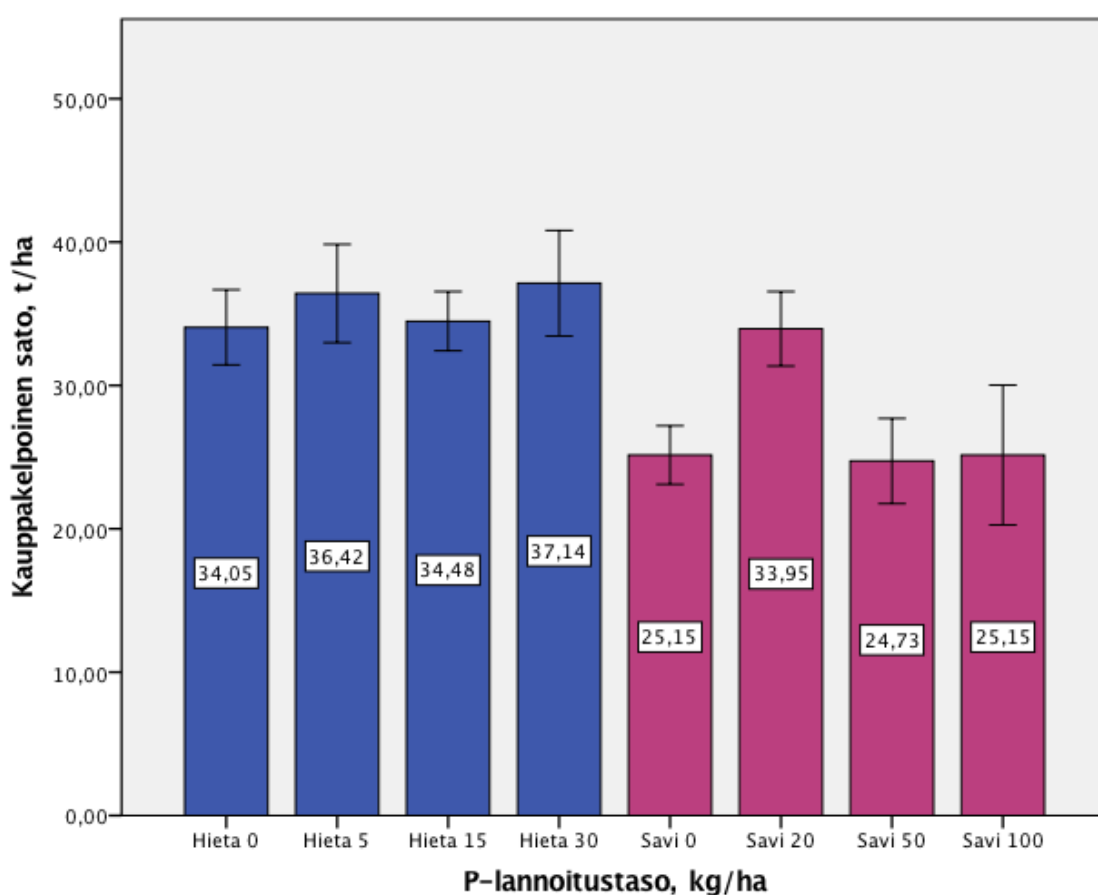
Tuoresatoon on laskettu sipulien ja lehtien yhteispaino ennen kuivausta (kuva 3). Lannoitustasojen välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa tuoresadossa kummallakaan maalajilla. Hietamaalla suurin sato saatiin suurimmalla lannoituksella 30 kg P /ha ja ero lannoittamattomaan kontrolliin oli 8,90 t/ha. Savimaalla suurin lannoitus 100 kg P/ha tuotti lannoittamatonta kontrollia 1,10 t/ha pienemmän sadon. Savimaan suurin sato saatiin pienimmällä 20 kg P/ha lannoituksella ja eroa kontrolliin oli 6,52 t/ha.



Kuva 3. Tuoresato lannoitusluokittain. Pylväät kuvaavat keskiarvoa  $\pm$ SE, n=4.

### 6.1.2 Kauppakelpoinen sato

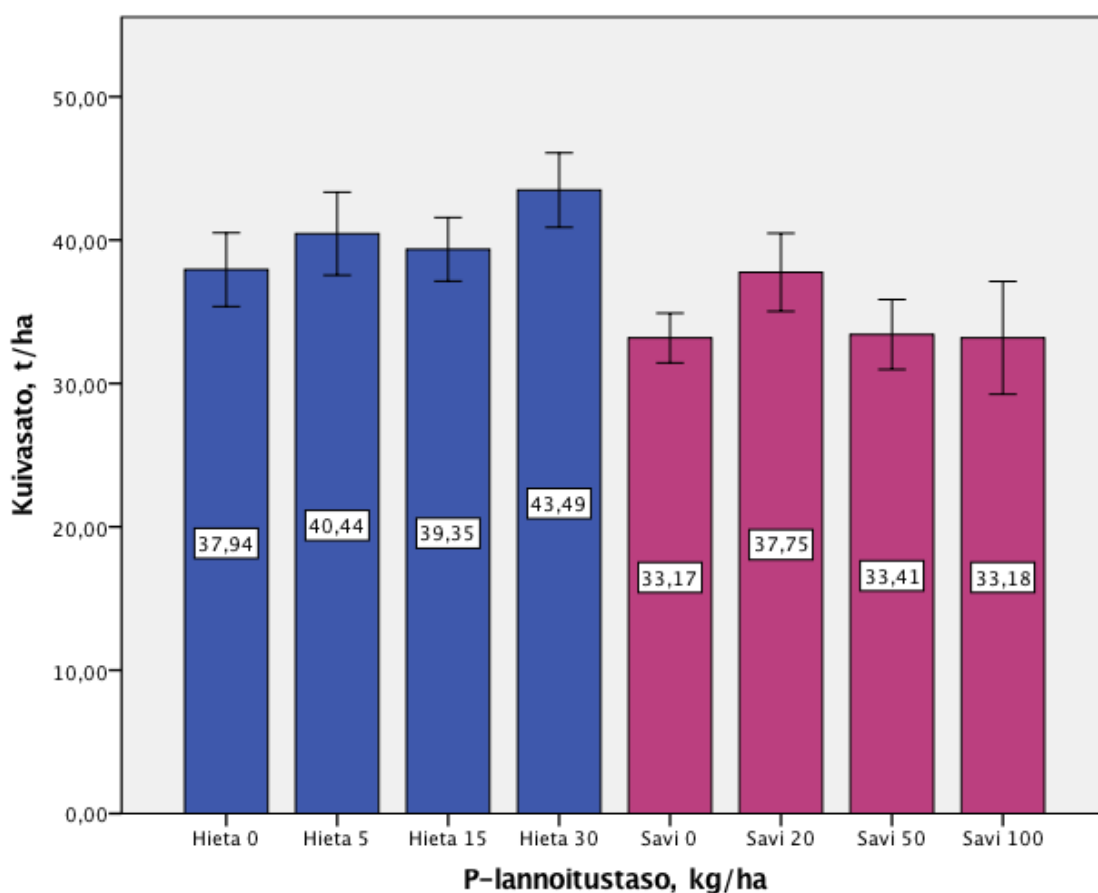
Kauppakelpoiseen satoon on laskettu terveet kuivatut sipulit (kuva 4). Lannoitustasolla ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta kauppakelpoiseen satoon hieta- tai savimaalla. Kauppakelpoiset sadot olivat hyvin tasaiset lannoituksesta riippumatta: hietamaalla suurin sato saatiin suurimmalla lannoituksella 30 kg P/ha ja ero lannoittamattomaan kontrolliin oli 3,09 t/ha. Savimaalla suurin lannoitus tuotti yhtä paljon satoa kuin kontrolli, 25,15 t/ha, ja pienimmällä 20 kg P /ha lannoituksella saatu suurin sato oli 8,80 t/ha kontrollia suurempi.



Kuva 4. Kauppakelpoiset sipulit lannoitusluokittain. Pylväät kuvaavat keskiarvoa  $\pm$ SE, n=4.

### 6.1.3 Laskennallinen kuivasato

Laskennalliseen kuivasatoon on laskettu kauppakelpoisten ja viallisten kuivattujen sipulien osuus tuoresadosta (kuva 5). Laskennallinen kuivasato laskettiin, koska sadonkorjuuvaiheessa eroteltiin melko paljon tautien vioittamia sipuleita, joita ei viety kuivattavaksi. Lannoitus ei vaikuttanut tilastollisesti merkitsevästi kuivattuun satoon kummallakaan maalajilla. Molemmilla maalajeilla pienin laskennallinen kuivasato saatiin ilman lannoitusta. Hietamaalla suurin sato saatiin suurimmalla lannoituksella, ero kontrolliin oli 5,55 t/ha. Savimaalla suurin sato saatiin pienimmällä lannoituksella ja se oli 4,61 t/ha suurempi kuin kontrolli. Kontrollin ja kahden suurimman lannoitustason satoero oli savimaalla alle 1 t/ha.



Kuva 5. Laskennallinen kuivasato lannoitusluokittain. Pylväät kuvaavat keskiarvoa  $\pm$ SE,  $n=4$ .

## 6.2 Sadon sisältämät ravinteet

Sipuleista ja lehdistä mitatut ravinnepitoisuudet olivat keskenään tasaiset ja hajonta oli vähäistä (taulukko 7, liite 2). Varianssianalyysi osoitti lannoitustason nostaneen hietamaalla yksittäisiä ravinnepitoisuuksia: sipulien typpipitoisuutta ( $p=0,007$ ) ja naattien fosfori- ( $p<0,001$ ), natrium- ( $p=0,003$ ), rikki- ( $p=0,002$ ) sekä mangaanipitoisuutta ( $p=0,039$ ). Dunnett'n testi osoitti fosforilannoituksen nostaneen vain sipulien typpipitoisuutta erittäin merkitsevästi 5 ja 15 kg P/ha lannoitustasoilla ( $p_{\text{Dunnett}}=0,003$  ja  $p_{\text{Dunnett}}=0,004$ ) sekä merkitsevästi ( $p_{\text{Dunnett}}=0,019$ ) 30 kg P/ha lannoitustasolla verrattuna lannoittamattomiin sipuleihin (taulukko 8). Lehdissä fosforilannoitus nosti Dunnett'n testin mukaan ainoastaan natriumpitoisuutta tilastollisesti merkitsevästi 30 kg P/ha tasolla ja erittäin merkitsevästi 5 ja 15 kg P/ha tasolla verrattuna lannoittamattomiin lehtiin (taulukko 8).

Taulukko 7. Sadosta mitatut sipulien ja lehtien typpi- (N), fosfori- (P) ja kaliumpitoisuudet (K). Taulukossa on esitetty keskiarvot ja keskiarvon keskivirhe (SE),  $n=4$ .

Lannoitustaso	N % ka		P g/kg ka		K g/kg ka	
	sipulit	lehdet	sipulit	lehdet	sipulit	lehdet
0 P Hieta	1,41	2,15	3,93	3,42	16,4	25,8
5 P Hieta	1,65	2,25	4,09	2,70	16,7	28,2
15 P Hieta	1,64	2,30	4,03	2,80	17,6	29,6
30 P Hieta	1,58	2,21	3,86	2,59	16,1	26,7
SE	0,03	0,03	0,05	0,09	0,27	0,75
p-arvo	0,007	0,450	0,457	0,000	0,270	0,309
0 P Savi	1,67	2,41	3,50	2,40	17,7	43,1
20 P Savi	1,72	2,39	3,82	2,53	19,2	43,6
50 P Savi	1,58	2,41	3,27	2,37	17,5	40,6
100 P Savi	1,64	2,44	3,46	2,42	17,9	40,1
SE	0,03	0,03	0,07	0,04	0,25	0,82
p-arvo	0,367	0,947	0,032	0,464	0,039	0,350

Taulukko 8. Dunnett'n testin p-arvot varianssianalyysillä saaduista merkitsevästä tuloksista hietamaalla, kontrollina lannoittamattomat sipulit ja lehdet.

$p_{\text{Dunnett}}$	Sipulit	Lehdet			
	N	P	Na	S	Mn
5 P	0,003	1,000	0,001	1,000	0,887
15 P	0,004	1,000	0,008	0,999	0,583
30 P	0,019	1,000	0,021	1,000	0,999

Savimaalla tilastollisia yhteyksiä lannoitustason ja ravinnepitoisuuden välillä löytyi varianssianalyysillä enemmän, sillä lannoitustaso nosti sipulien fosfori- ( $p=0,032$ ), kalium- ( $p=0,039$ ), natrium- ( $p=0,018$ ), mangaani- ( $p=0,047$ ), boori- ( $p=0,043$ ), kupari- ( $p=0,009$ ), sinkki- ( $p=0,044$ ) ja rautapitoisuutta ( $p=0,001$ ) (taulukko 7, liite 2). Lehtien ravinteiden osalta lannoitustaso nosti vain natrium- ( $p=0,003$ ), rikki- ( $p=0,03$ ) ja rautapitoisuutta ( $p=0,043$ ). Dunnett'n testi kuitenkin osoitti, että fosforilannoitus nosti vain sipulien kalium- ja mangaanipitoisuutta kaikilla lannoitustasoilla, sekä boorin, kuparin ja sinkin pitoisuutta alimmalla 20 kg P /ha lannoitustasolla (taulukko 9). Lehtien osalta fosforilannoitus lisäsi ainoastaan natriumpitoisuutta tilastollisesti merkitsevästi 20 kg P /ha lannoitustasolla.

Taulukko 9. Dunnett'n testin p-arvot varianssianalyysillä saaduista merkitsevästä tuloksista savimaalla. Tilastollisesti merkitsevät arvot on korostettu. Kontrollina lannoittamattomat sipulit ja lehdet.

pDunnett	Sipulit								Lehdet		
	P	K	Na	Mn	B	Cu	Zn	Fe	Na	S	Fe
20 P	0,083	<b>0,039</b>	0,075	<b>0,047</b>	<b>0,012</b>	<b>0,020</b>	<b>0,047</b>	0,696	<b>0,017</b>	0,122	0,861
50 P	0,987	<b>&lt;0,001</b>	0,989	<b>0,000</b>	0,572	0,981	0,920	1,000	0,990	0,943	0,999
100 P	0,831	<b>0,039</b>	0,962	<b>0,047</b>	0,225	0,812	0,852	1,000	0,980	0,991	0,999

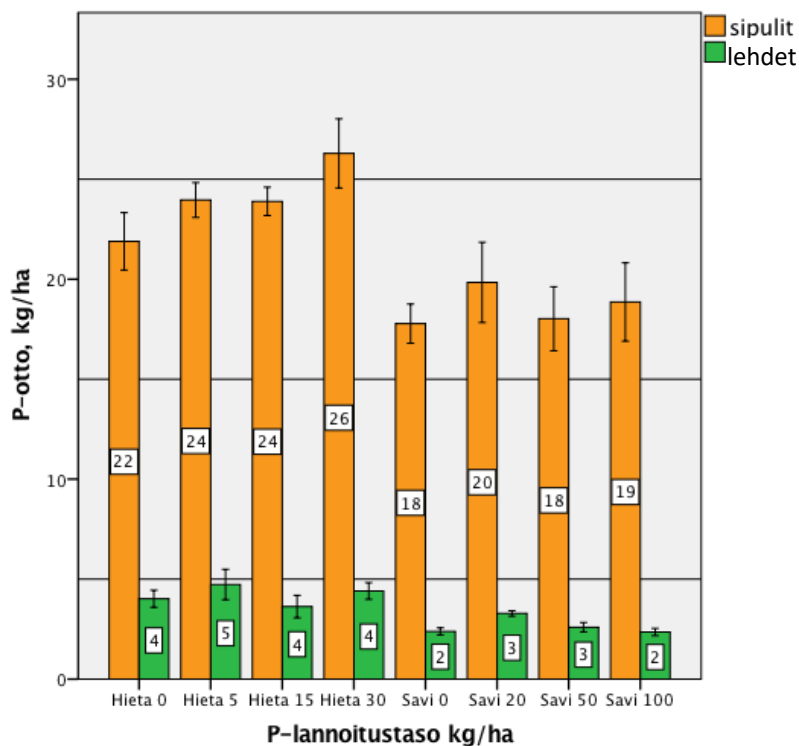
### 6.3 Sadon mukana poistunut fosfori, typpi ja kalium

Sipulisadon fosforin, typen ja kaliumin otto laskettiin erikseen sipuleista ja lehdistä (kuvat 6-8). Sipulin ravinteiden otto oli hieman suurempaa hietamaalla (22–26 kg P /ha, 86–102 kg N /ha ja 92–111 kg K /ha) kuin savimaalla (18–20 kg P/ha, 84–90 kg N /ha ja 92–101 kg K /ha). Lannoitus ei vaikuttanut sipulien fosforin, typen tai kaliumin ottoon tilastollisesti merkitsevästi kummallakaan maalajilla.

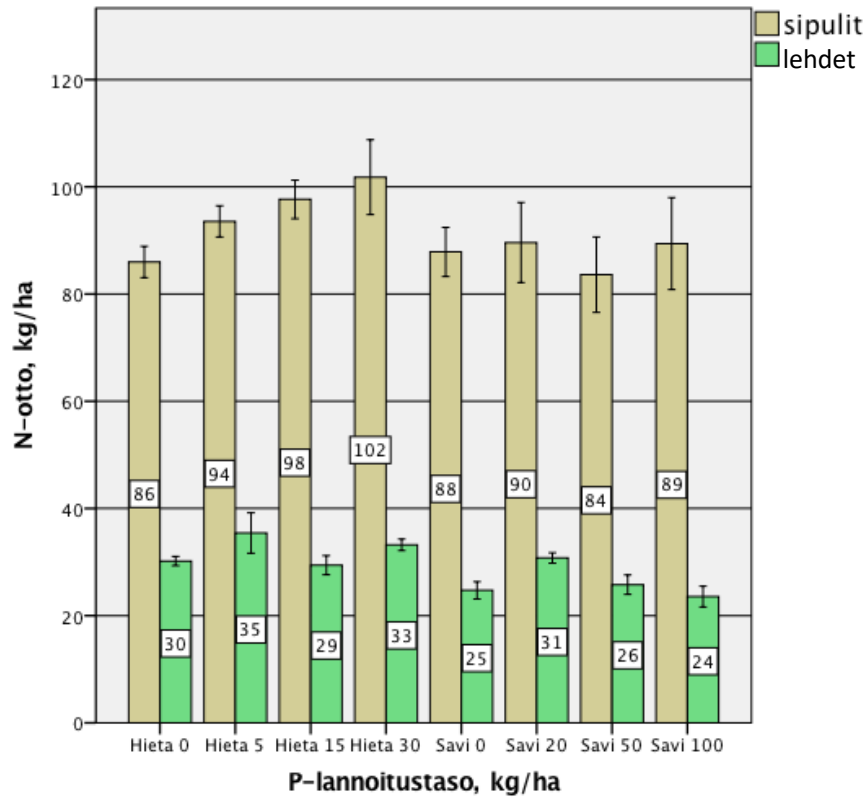
Varianssianalyysin tulos oli, että fosforilannoitus lisäsi hietamaalla lehtien kaliumin ottoa ( $p=0,014$ ) ja savimaalla lehtien fosforin ( $p=0,010$ ), typen ( $p=0,034$ ) ja kaliumin ottoa ( $p=0,038$ ) (kuvat 6-8). Kuitenkin Dunnett'n testi osoitti hietamaalla fosforilannoituksen lisäyksen vain lehtien kaliumin ottoa pienimmällä lannoitustasolla tilastollisesti merkitsevästi ( $p_{\text{dunnett}}=0,010$ ). Savimaalla vain pienin lannoitustaso lisäsi tilastollisesti merkitsevästi lehtien typen ( $p_{\text{dunnett}}=0,024$ ) ja kaliumin ( $p_{\text{dunnett}}=0,014$ ) ottoa sekä erittäin merkitsevästi fosforin ottoa ( $p_{\text{dunnett}}=0,005$ ).

Lehtiin kertyneiden ravinteiden osuus ravinteiden jakautumisesta oli kuitenkin pieni, sillä valtaosa ravinteista kertyi tavoitellusti sato-osaan eli sipuliin. Fosforista kertyi lehtiin molemmilla maalajeilla vain 14%, tyypestä kertyi lehtiin 25 % hietamaalla ja 23 % savimaalla ja kaliumista hietamaalla 28 % ja savimaalla 32 %.

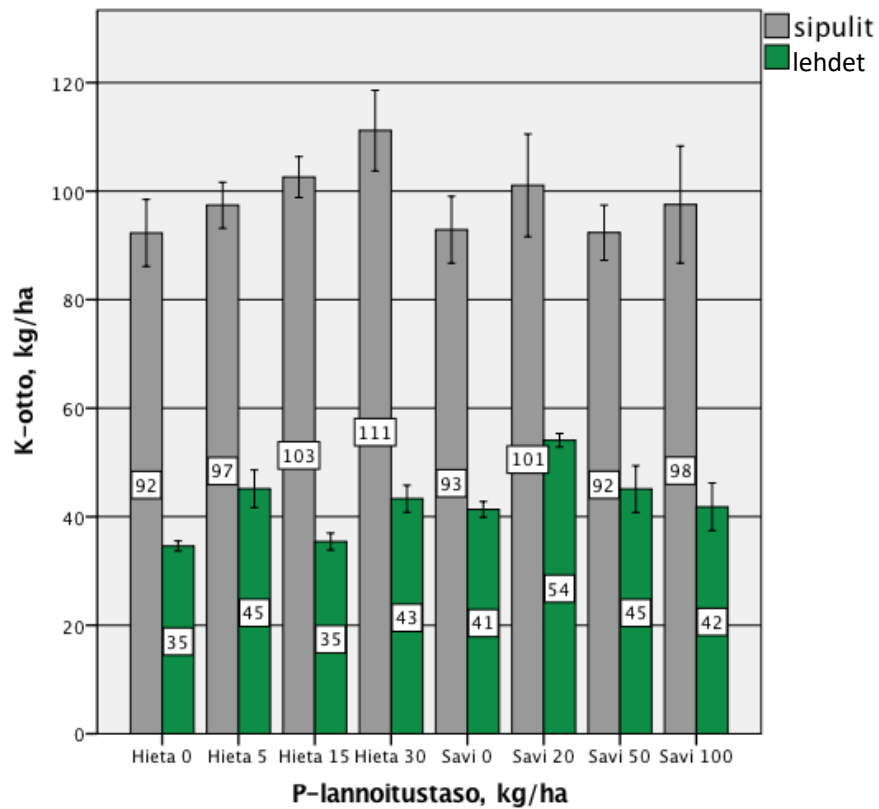
Sipulien ja lehtien yhteenlaskettu fosforinotto (26–30 kg P/ha hietamaalla ja 20–23 kg P/ha savimaalla) oli tasaista lannoituksesta riippumatta. Tilastollista yhteyttä fosforilannoituksen ja sipulien ja lehtien yhteenlasketun fosforin, typen tai kaliumin otton välillä ei ollut. Tyypeä molemmilla maalajeilla poistui sadossa lannoitusmäärää enemmän, hietamaalla 9–28 kg N /ha enemmän kuin lannoitettiin ja savimaalla 4–14 kg N /ha enemmän kuin lannoitteena annettiin. Sen sijaan kaliumia sipulit ja lehdet ottivat vähemmän kuin lannoitettiin, hietamaalla 45–77 kg K /ha lannoitusta vähemmän ja savimaalla 50–71 kg K /ha lannoitusta vähemmän.



Kuva 6. Sipulien ja naattien fosforin (P) otto (kg/ha) fosforilannoituskäsittelyittäin. Kuvassa esitetty keskiarvot  $\pm$ SE, n=4.



Kuva 7. Sipulien ja naattien typen (N) otto (kg/ha) fosforilannoituskäsittelyittäin. Kuvassa on esitetty keskiarvot  $\pm$ SE, n=4.



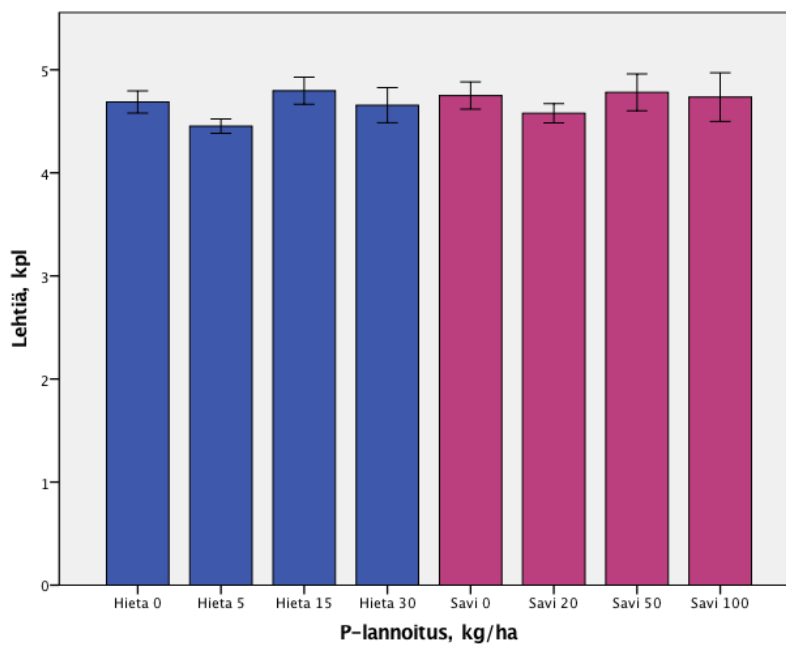
Kuva 8. Sipulien ja naattien kaliumin (K) otto (kg/ha) fosforilannoituskäsittelyittäin. Kuvassa on esitetty keskiarvot  $\pm$ SE, n=4.



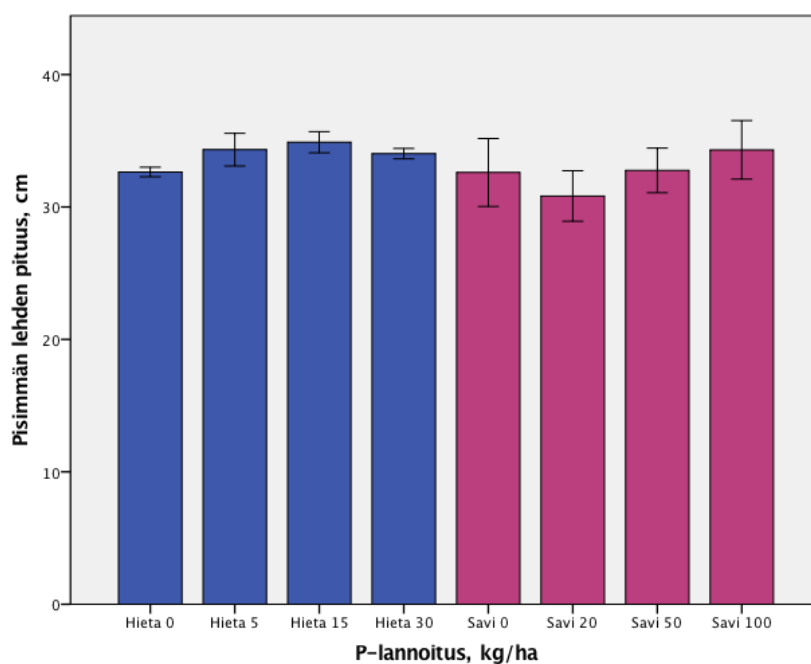
## 6.4 Kasvustomittaukset

### 6.4.1 Lehtien määrä ja maksimipituus

Kasvukaudella tehtyjen mittausten perusteella fosforilannoitus ei vaikuttanut kummallakaan maalajilla sipulin lehtien määrään (kuva 9) tai pisimmän lehden pituuteen (kuva 10). Lehtien kasvu oli erittäin tasaista fosforilannoituksesta riippumatta ja hajonta oli vähäistä.



Kuva 9. Sipulin lehtien lukumäärä 10.6.2014. Luvut 0-100 kuvaavat fosforilannoitusluokkia. Kuvassa on esitetty keskiarvot  $\pm$ SE, n=4.



Kuva 10. Sipulin pisimmän lehden pituus 10.6.2014. Luvut 0-100 kuvaavat fosforilannoitusluokkia. Kuvassa on esitetty keskiarvot  $\pm$ SE, n=16.

#### 6.4.2 Lehtien ravinnepitoisuus

Lannoituskäsittelyt eivät vaikuttaneet sipulin lehtien N-, P- ja K-pitoisuuksiin 5-lehtiasteella (taulukko 10). Savimaan näytteissä typen, fosforin ja kaliumin pitoisuudet olivat hietamaan pitoisuuksia suuremmat. Myöskään muiden ravinteiden osalta erot lehtien pitoisuuksissa eivät olleet tilastollisesti merkitseviä (liite 3).

Taulukko 10. Sipulin lehtinäytteiden typpi- (N), fosfori- (P) ja kaliumpitoisuus (K) fosforilannoitusluokittain (P 0-100). Luvut ovat keskiarvoja, n=4.

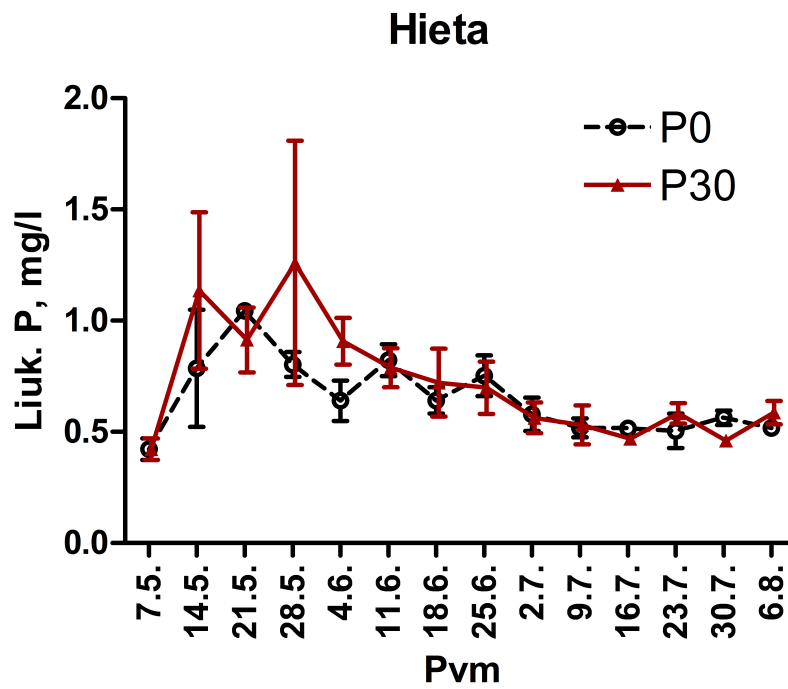
Lannoitus- taso	N (g/kg ka)	P (g/kg ka)	K (g/kg ka)
0 P Hieta	31,68	1,57	26,0
5 P Hieta	31,78	1,51	25,1
15 P Hieta	32,18	1,71	24,5
30 P Hieta	34,18	1,81	26,2
SE	0,57	0,05	0,54
p-arvo	0,396	0,061	0,724
0 P Savi	39,30	2,28	37,8
20 P Savi	39,25	2,26	36,4
50 P Savi	37,50	2,46	36,5
100 P Savi	38,68	2,47	36,5
SE	0,43	0,07	0,62
p-arvo	0,449	0,173	0,871

## **6.5 Maan liukoinen fosfori**

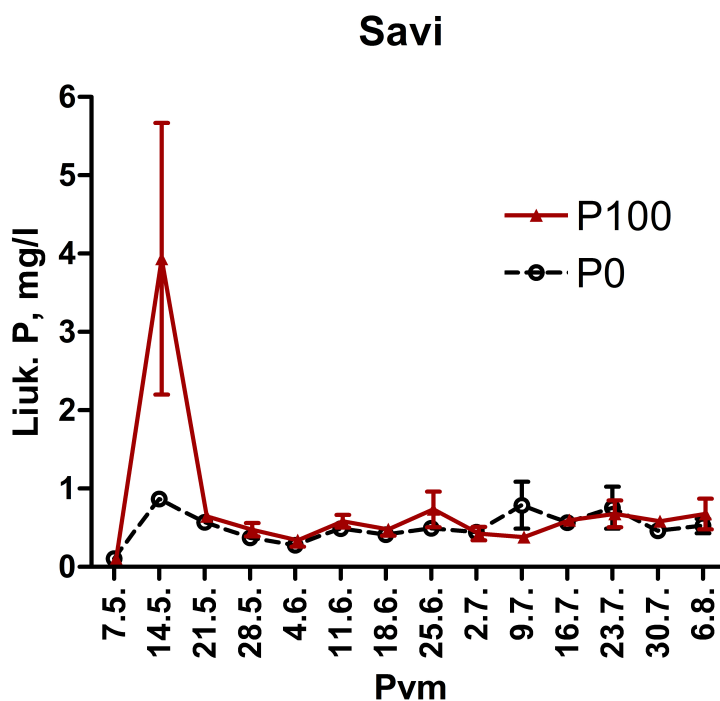
Fosforilannoitus ei vaikuttanut maan liukoisen fosforin pitoisuuteen, kun verrattiin maanäytteitä, jotka otettiin lannoittamattomista ja suurimman lannoituksen saaneista koeruuduista viikoittain 0–10 cm syvyydestä (kuvat 11 ja 12). Hietamaalla kaksisuuntainen varianssianalyysi osoitti vain ajan ja lannoituksen välillä olevan tilastollisesti merkitsevä yhteys ( $p < 0,001$ ), mutta Bonferroni-korjauksen jälkeen tilastollista merkitsevyyttä ei löytynyt ( $p > 0,05$ ).

Savimaalla tilastollisia yhteyksiä löytyi enemmän: lannoitustaso ( $p = 0,05$ ), aika ( $p < 0,001$ ) ja näiden yhteisvaikutus ( $p = 0,001$ ) vaikuttivat liukoisen fosforin pitoisuuteen, mutta Bonferroni-korjauksen jälkeen fosforilannoituksen vaikutus oli merkitsevä vain viikko lannoituksen jälkeen (14.5.) otetuissa näytteissä.

Molemmilla maalajeilla liukoisen fosforin pitoisuus tasaantui yllättävän samalle 0,5 mg P/l -tasolle lannoitusmäärien eroista huolimatta. Molemmilla maalajeilla liukoisen fosforin pitoisuudet olivat suurimmillaan heti lannoituksen jälkeen ja näytteiden välinen hajonta oli suurta. Hietamaalla lannoituksen vaikutus liukoisen fosforin pitoisuuteen tasaantui kuukauden kuluttua lannoituksesta ja näytteiden hajonta väheni huomattavasti. Savimaalla lannoitettujen ruutujen liukoisen fosforin määrä nousi viikon kuluttua lannoituksesta nelinkertaiseksi verrattuna lannoittamattomiin koejäseniin. Näytteiden välinen hajonta oli suurempaa savimaalla kuin hietamaalla. Savimaalla liukoisen fosforin määrä tasaantui kahden viikon kuluttua lannoituksesta samalle tasolle lannoittamattomien koejäsenten kanssa.



Kuva 11. Liukoisen fosforin pitoisuus hietamaalla ilman fosforilannoitusta (P0) ja 30 kg P/ha (P30) lannoitetuissa koeruuduissa. Hajonnan yksikkönä keskiarvon keskivirhe. (Kuva: Risto Uusitalo)



Kuva 12. Liukoisen fosforin pitoisuus savimaalla ilman fosforilannoitusta (P0) ja 100 kg P/ha (P100) lannoitetuissa koeruuduissa. Hajonnan yksikkönä keskiarvon keskivirhe. (Kuva: Risto Uusitalo)

## **6.6 Maan viljavuus**

Fosforilannoitus ei vaikuttanut tilastollisesti merkitsevästi maan viljavuusanalyysituloksiin (liite 4). Verrattaessa syksyn tuloksia kevään tuloksiin hietamaalla fosforin, kaliumin ja rikin pitoisuudet nousivat hieman kaikilla lannoitustasoilla, myös lannoittamattomissa koeruuduissa. Kaliumin ja magnesiumin pitoisuudet nousivat 15 kg P/ha lannoitustasolla sekä lannoittamattomassa koeruudussa ja laskivat 5 ja 30 kg P/ha lannoitustasoilla. Maan happamuus pysyi ennallaan lannoittamattomassa ja 15 kg P/ha lannoitetussa koeruudussa. 5 ja 30 kg P /ha lannoitustasojen osalta muutos oli hyvin pieni, pH laski 0,1-yksikköä.

Savimaalla fosforilannoitus nosti viljavuusanalyysillä määritetyn fosforin pitoisuutta kaikissa lannoitetuissa ruuduissa 0,1–0,2 mg/l, vaikkakaan tulos ei ollut tilastollisesti merkitsevä ( $p=0,067$ ). Lannoittamattomissa ruuduissa fosforin pitoisuus ei muuttunut. Kaliumin ja kalsiumin pitoisuudet laskivat ja rikin pitoisuus nousi kaikissa ruuduissa savimaalla. Magnesiumin pitoisuus nousi 50 kg P /ha lannoitustasolla hieman, muissa koeruuduissa pitoisuus laski. Maan happamuus lisääntyi, eli pH laski kaikissa koeruuduissa 0,1–0,2-yksikköä.

## 7 TULOSTEN TARKASTELU

### 7.1 Sipulisadon määrä ja laatu

Sato oli suuruudeltaan kohtalainen ja samalla tasolla joidenkin aiempien kotimaisten viljelykokeiden tulosten (Aura 1985, Salo ym. 2001) kanssa, vaikka suurempiakin satotasoja, 40–50 t/ha, Piikkiössä on mitattu (Salo ym. 2002). Tässä kokeessa satoerot eri lannoitustasojen välillä olivat pienet, tuoresadon osalta alle 10 t/ha, eikä fosforilannoituksen havaittu vaikuttavan tuoreen, kauppakelpoisen tai laskennallisen kuivasadon määrään tai laatuun tilastollisesti merkitsevästi. Savimaalla kaikki satotulokset olivat pienempiä kuin hietamaalla, mikä selittyy maalajien ominaisuuksiin ja koepaikkojen sijaintiin liittyvillä eroavaisuuksilla. Vähemmän tiivistyvä hietamaan lohko sijaitsi etelärinteessä ja savimaan lohko alempana laaksossa. Sipulin satovaste lannoitukseen jäi heikoksi myös Suojalan ym. (1998) typpilannoituskokeessa, jossa säännöllinen kastelu vaikutti heikkojuurisen sipulin satoon lannoitusta enemmän.

Ulkomaisissa lannoituskokeissa on saatu saman suuntaisia tuloksia: Etelä-Koreassa NPK-lannoitustason kaksinkertaistaminen tai lannoitteiden jakaminen useammassa erässä suosituksiin verrattuna ei parantanut sipulien satoa, kokoa tai varastokestävyyttä, eikä lisännyt typen, fosforin tai kaliumin kertymistä maaperään (Lee ym. 2012). Suurin kauppakelpoinen sato saatiin suositellulla lannoitustasolla, 13 kg P/ha, kokeen maan P-luokkaa ei ollut määritetty sanallisesti. Georgiassa Yhdysvalloissa suosituksia suurempi fosforilannoitus ei vaikuttanut satotasoon, mutta nosti sipulin keskikokoa (Boyhan ym. 2007) ja paikalliset fosfori- ja kaliumlannoitussuosituksset puolitettiin kokeen tulosten perusteella.

Kasvukauden vaihtelevat lämpöolosuhteet tai elokuun runsaat sateet eivät haitanneet sipulien kasvua. Sato olisi voinut olla suurempi, jos sato olisi korjattu myöhemmin. Nyt sato korjattiin elokuussa ennen kuin lehdet olivat kaikista sipuleista lakoontuneet. Suojalan ym. (2001) sipulisato oli suurin, kun sato korjattiin täysin tuleentuneena. Toisaalta elokuun runsaat sateet olisivat voineet heikentää sadon laatua, jos sadonkorjuu olisi jätetty myöhäisempään ajankohtaan. Suojala & Kallela totesivat (2001) kesän sateisuuden lyhentävän sipulin optimaalista korjuuaikaa ja lisäävän varastotappioita. Savimaalla havaittiin elokuussa jonkin verran sipulimädän (*Fusarium oxysporum*) aiheuttamaa vioitusta sipuleissa, mikä osaltaan vaikutti nostoajankohtaan.

## 7.2 Kasvuston seuranta

Sipulikasvuston lehtien kasvu oli hyvin tasaista lannoitustasosta riippumatta kummallakin maalajilla, eikä fosforinpuutosoireita havaittu. Myöskään lehtien fosforipitoisuudessa tai muiden ravinteiden pitoisuuksissa ei ollut eroa eri lannoitustasoilla. Brewsterin ym. (1975) mukaan lehden pinta-alan kasvun seuranta ei kuvaa luotettavasti fotosynteesin tehokkuutta aikaisilla kasvuasteilla, koska fosforin otto ja kasvu voivat hetkittäin olla epätasapainossa. Vastaavasti Boyhanin ym. (2007) mukaan lehtien ravinnepitoisuuden mittaaminen kasvustosta ei välttämättä ole sopivin mittaustapa ravinnepitoisuuksien tai puutosten seurantaan, sillä fosforia ei ehkä liiku lehtiin niin runsaasti, että eroja saisi mitattua. Boyhanin ym. (2007) kokeessa P-lannoituksella ei ollut vaikutusta lehtien N-, K-, Ca- tai S-pitoisuuteen, mutta lehden fosforipitoisuus nousi P-lannoitustason noustessa 147 kg P /ha asti. Huett ym. (1997) ovat listanneet sipulin lehtien riittäväksi P-pitoisuudeksi 0,31 % P 4-lehtivaiheessa ja tässä kokeessa lehtien P-pitoisuus oli hietamaalla 5-lehtivaiheessa puolet ja savimaalla  $\frac{3}{4}$  tästä rajasta, N-pitoisuus oli molemmilla maalajeilla riittävä (raja 3,63 % N) ja K-pitoisuus savimaalla riittävä ja hietamaalla  $\frac{3}{4}$  riittävästä pitoisuudesta (raja 3,48 % K).

Koska kasvuston ravinteikkuutta mitattiin vain kerran kasvukauden aikana, mittaustajankohta on voinut hieman vaikuttaa tuloksiin. Piikkiössä aiemmin toteutetussa sipulin typpilannoituskokeessa (Salo ym. 2002) näytteiden ottoaika vaikutti lehtien typpipitoisuuteen. Vihreistä lehdistä otettu näyte sisälsi enemmän typpeä kuin vanhemmista lehdistä otettu näyte. Yksivuotisessa kokeessa kasvukauden olosuhteiden vaikutusta tuloksiin on vaikea sulkea täysin pois. Näiden tulosten perusteella ei voida sanoa, soveltuuko kasvuston lehtien pituuden, lukumäärän tai ravinnepitoisuuksien mittaaminen sipulin ravinteiden saannin seurantaan tai fosforin puutosoireiden tunnistamiseen.

### 7.3 Sadon ravinteet

Fosforilannoituksen ja sadon ravinnepitoisuuksien välillä havaittiin tilastollisia yhteyksiä vain yksittäisten ravinteiden osalta ja osin vain alimmilla lannoitustasoilla. Vaikka hietamaalla varianssianalyysi näytti tilastollisia yhteyksiä useamman ravinteen pitoisuuden ja fosforilannoituksen välillä, Dunnettin testin mukaan ainoastaan sipulien typpipitoisuus oli erittäin merkitsevästi suurempi lannoitustasoilla 5 ja 15 kg P/ha ja merkitsevästi suurempi lannoitustasolla 30 kg P/ha verrattuna lannoittamattomiin sipuleihin. Lehdissä tilastollinen yhteys näkyi vain natriumin osalta, sillä natriumpitoisuus oli suurempi lannoitetuissa kuin lannoittamattomissa naateissa kaikilla lannoitustasoilla.

Savimaalla fosforilannoituksen ja sipulien fosforipitoisuuden välillä ei ollut tilastollista merkitsevyyttä, mutta kaikissa lannoitetuissa koejäsenissä kaliumin ja mangaanin pitoisuus oli korkeampi kuin lannoittamattomissa koejäsenissä. Pienimmän fosforilannoituksen, 20 kg P/ha, saaneissa sipuleissa boorin, kuparin ja sinkin pitoisuudet olivat tilastollisesti merkitsevästi suuremmat verrattuna kontrolliin. Savimaan lehtien osalta tulokset olivat vaatimattomat; vain koejäsenessä 20 kg P/ha mitattiin tilastollisesti merkitsevä ero natriumpitoisuudessa verrattuna lannoittamattomaan kontrolliin.

Verrattuna Finkin ym. (1999) kokoamiin taulukkoarvoihin sipulien fosfori, typpi- ja kaliumpitoisuudet olivat sipulille tyypilliset. Myös Greenwoodin ym. (1980) korkeilla lannoitusmäärillä tehdyssä P-lannoituskokeessa mitattu sipulien P-pitoisuus, 0,42 % P kuiva-aineesta, oli hyvin samalla tasolla tämän kokeen tulosten kanssa. Muiden ravinteiden osalta mangaanin, raudan ja boorin pitoisuudet olivat alhaiset verrattuna Huettin ym. (1997) kokoamiin taulukkoarvoihin. Kalsiumia, magnesiumia, rikkiä, natriumia, kuparia ja sinkkiä sipulit sisälsivät riittävästi. Näiden tulosten perusteella nykyistä runsaampi fosforilannoitus ei näytä tehostavan sipulien ravinteiden ottoa. Aiemmissa lannoituskokeissa lannoituksen vaikutus ravinnepitoisuuksiin ei ole ollut yksiselitteinen: Boyhan ym. (2007) totesivat N- ja P-lannoituksen vaikuttavan lehtien N- ja P-pitoisuuteen ja K-lannoituksen vaikuttavan lehtien P-pitoisuuteen. Greenwoodin ym. (1980) kokeessa fosforilannoituksen nosto optimiin (105 kg P/ha) tai maksimiin (357 kg/ha) ei vaikuttanut sipulin tai naattien P-pitoisuuteen kuiva-aineessa, eikä Suojalan ym. (1998) kokeessa typpilannoitus sipulien tai lehtien typpipitoisuuteen.



Vaikka savimaan sipulit nostettiin kuusi vuorokautta aiemmin kuin hietamaan sipulit, nostoajankohdalla tuskin oli suurta vaikutusta sipulien ravinnepitoisuuksiin, sillä Bosch-Serran ja Currahin (2002) mukaan sipulin P-pitoisuus ei muutu sipulin muodostusvaiheen jälkeen. Toisaalta Salo ym. (2001) mittasivat ravinnepitoisuuksien olevan suurimmillaan, kun lehdistö ei ollut vielä taittunut alas. Salon ym. (2001) mukaan sipulien ravinnepitoisuus laski 10 % ennen sadonkorjuuta ja lehtien ravinteet olivat lähes kokonaan siirtyneet sipuleihin tai maaperään.

Verrattaessa lehtien kasvukaudella mitattuja ravinnepitoisuuksia sadosta määritettyihin ravinnepitoisuuksiin, useimpien ravinteiden pitoisuudet olivat suuremmat sadonkorjuun jälkeen kuin kasvukaudella. Hietamaalla lehtien fosforipitoisuus oli suurempi sadonkorjuun aikaan kuin kasvukaudella, mutta savimaalla lehtien fosforipitoisuus pysyi samalla tasolla. Vain lehtien typen, kuparin ja sinkin pitoisuus oli molemmilla maalajeilla pienempi sadonkorjuun jälkeen kuin kasvukaudella.

#### **7.4 Sadon NPK-otto**

Sipulisadossa poistunut fosforimäärä oli yllättävän saman suuruinen eri maalajeilla, vaikka savimaalla maksimilannoitus oli yli kolminkertainen hietamaan maksimilannoitustasoon verrattuna ja maan liukoisen fosforin pitoisuus hietamaalla kuusinkertainen savimaan määrään verrattuna ennen lannoituskoetta. Fosforin ottomäärät olivat kuitenkin linjassa satotulosten kanssa, sillä sekä suurin sato että suurin satoon siirtynyt P-määrä saatiin hietamaalla 30 kg P /ha lannoitustasolla ja savimaalla 20 kg P/ha lannoitustasolla, vaikkakaan erot eri lannoitustasojen välillä eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Savimaan sipulit eivät hyötäneet suurista 50 ja 100 kg P/ha fosforimääristä, sillä sipulien mukana poistuneen fosforin määrä tai satotaso eivät nousseet samassa suhteessa annetun fosforimäärän kanssa. Tässä kokeessa mitattu sipulin fosforinotto oli samalla tasolla kuin Altin (1987) mittaama purjon fosforinotto (8 kg P / 10 t syötävää sato-osaa) eli n. 24 kg P/ha tämän kokeen satotasolle muunnettuna sekä Bosch-Serran ja Currahin (2002) mittaama sipulin fosforin otto 35–38 kg P/ha. Koska erot fosforinotossa olivat pienet eri koejäsenten välillä ja lannoittamattomatkin sipulit kasvoivat hyvin, maassa oli ilmeisesti riittävästi fosforia aiemman viljely- ja lannoitushistorian seurauksena. Maaperän kyllästysaste oli riittävän suuri ja maanesteessä oli siten riittävästi fosforia sipulin juuriston saatavilla.

Lannoittamattomien sipulien hyvää fosforin ottoa voi osin selittää myös mahdollinen mykorritsan muodostuminen juuristoon, kuten Brewsterin ym. (1975) astiakokeessa, jossa alimman fosforilannoituksen ( $0,29 \times 10^{-6}$  mol P /g kuivattua maata) saaneiden sipulien juuristosta 90 % peitti mykorritsa. Kokeessa käytetty kerätty maa-aines oli ollut lannoittamatta useamman vuoden ajan. Tässä kokeessa ei tutkittu juuristoa tai mykorritsojen muodostumista tarkemmin.

Sadossa poistui hieman enemmän typpeä kuin lannoituksella annettiin, mutta sadossa poistuneiden typen ja kaliumin määrät olivat samalla tasolla aiempien kokeiden tulosten (Salo ym. 2001 ja 2002, Pire ym. 2002) kanssa ja siten ilmeisesti sipulille tyypillisiä määriä. Toisaalta Suojalan ym. (1998) kokeessa, jossa sipulit nostettiin täysin tuleentuneena, lehtiin kertyi typpeä ensimmäisenä koevuonna vain 3–5 kg N /ha ja toisena vuonna 7–9 kg N /ha mikä on noin kolmannes tämän kokeen lehtien sisältämästä typpimäärästä.

Bosch-Serran ja Currahin (2002) mukaan sipulilla voi esiintyä kaliumin luksusottoa, joten oli hieman yllättävää, että kaliumia poistui sadon mukana hietamaalla 45–77 kg K /ha ja savimaalla 50–71 kg K /ha vähemmän kuin lannoitettiin. Koska kalium liikkuu helposti maaperässä, osa lannoituksella annetusta kaliumista on voinut siirtyä maaperässä veden mukana sipulin juuriston ulottumattomiin.

## **7.5 Fosforilannoitustasot**

Koska satotaso oli normaali ja lannoittamattomien sipulien kasvu sekä fosforin otto olivat samalla tasolla kuin lannoitettujen sipulien, voidaan olettaa, että maassa oli riittävästi fosforia varastoituneena ja helposti sipulin juuriston saatavilla koko kasvukauden ajan. Sipulien fosforin otto ei kasvanut samassa suhteessa lannoitemäärien kasvun kanssa. Näin kävi myös Brewsterin ym. (1975) astiakokeessa, jossa maanesteen P-pitoisuus ja sipulin P-otto olivat arvioitua alhaisemmat suurimmalla lannoitustasolla ( $30 \times 10^{-6}$  mol P /g kuivattua maata).

Fosforin tehokkaan pidättymistäipumuksen vuoksi fosforilannoitus voidaan antaa joka toinen vuosi, jolloin kerralla annettavan lannoitusmäärän on oltava sama kuin yksittäisten vuosien yhteenlaskettu määrä (Mengel ja Kirkby 2001). Fosforin pidättäminen maapartikkeleihin ei kuitenkaan jatku loputtomasti, vaan aiheuttaa sähköistä hylkimistä maapartikkelien ja negatiivisesti varautuneiden fosfaatti-ionien

välillä ja siten heikentää maan puskurikykyä (Barrow 2015), kuten Brewsterin ym. (1975b) kokeessa, jossa maan puskurikapasiteetti oli alempi korkeimmalla kuin alemmalla lannoitustasolla. Tällöin maanesteen fosforipitoisuus voi kasvaa, ja kasvien käytettävissä on enemmän fosforia. Ilmeisesti tämän kokeen lannoituksesta riippumattomat tasaiset satotulokset selittyvät osittain aiempien vuosien lannoitushistorialla ja maanesteen riittävällä fosforipitoisuudella. Fosforilannoituksen vaikutusta kannattaisi tutkia useamman kasvukauden aineistosta, jotta saadaan tarkempaa tietoa fosforin liikkumisesta maaperässä.

Vaikka vielä 1980-luvulla sipulin optimilannoitustasoksi saatiin viljelykokeessa 105 kg P /ha (Greenwood ym. 1980), lannoitussuosituksia on uudempien koetulosten perusteella tarkistettu, ja joko pidetty ennallaan (Lee ym. 2012) tai alennettu (Boyhan ym. 2007). Sipulin typpilannoitusmäärää on suositeltu alennettavan jo aiemmin (Suojala ym. 1998, Salo ym. 2002). Tämän kokeen tulosten perusteella sipulin viljelyssä Suomessa yleisesti käytettävät fosforilannoitusmäärät ovat riittävät ja yli 20–30 kg P/ha lannoitus ei merkittävästi lisää satotasoa.

## **7.6 Maan ravinteet**

Fosforilannoitus ei vaikuttanut viljavuusanalyysillä mitattuun maan happamuuteen tai maan ravinnepitoisuuksiin kummallakaan maalajilla. Viikoittain juuriston ottosyvyydestä mitattu maan liukoisen fosforin pitoisuus tasaantui hietamaalla kuukauden ja savimaalla kahden viikon kuluttua lannoituksesta. Liukoisen fosforin väheneminen maanesteestä ajoittuu sipulin suurimman fosforin oton kanssa samalle ajanjaksolle. Myös Brewsterin ym. (1975) kokeessa sipulin fosforin otto tasaantui kahden viikon kuluttua itämisen alkamisesta.

Heti lannoituksen jälkeen otetuissa liukoihin fosforin pitoisuutta mittaavissa näytteissä liukoisen fosforin pitoisuus oli savimaalla nelinkertainen hietamaan pitoisuuksiin verrattuna. Eroa selittävät erisuuruiset lannoitusmaksimit ja maalajien erilainen fosforipitoisuus ennen koetta. Savimaalla suurin fosforilannoitustaso oli yli kolminkertainen hietamaan maksimilannoitusmäärään verrattuna. Koska liukoisen fosforin määrä ei juurikaan kasvanut maassa kokeen jälkeen, ylimääräinen fosfori sitoutui ilmeisesti maapartikkeleihin. Myös maan happamuus oli sekä sipulin fysiologisen tarpeen että fosforin liukoisuuden kannalta sopivalla tasolla koko kasvukauden ajan.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Fosforilannoituksen vaikutusta sipulin kasvuun tai satoon ei tässä kokeessa havaittu, eikä selkeää optimilannoitustasoa löytynyt. Satotaso ja sadon ravinnepitoisuus olivat kaikilla lannoitusmäärillä hyvin saman suuruiset ja oletus, että P-lannoitus lisäisi satomäärää ja parantaisi sadon laatua, ei toteutunut. Maan liukoisen fosforin pitoisuus tasaantui hietamaan korkean ja savimaan välttävän fosforipitoisuuden lohkoilla samalle tasolle erisuuruudesta lannoituksesta huolimatta. Kokeen tulosten perusteella sipuli ei hyödy viljavuusanalyysiin perustuvia enimmäismääriä suuremmista fosforilannoitusmääristä.

Koska lannoitusportaiden väliset erot lehtien ravinnepitoisuudessa kasvukaudella olivat pienet ja sipulit kasvoivat tasaisesti ja ilman fosforinpuutosoireita myös lannoittamattomissa lohkoissa, tulosten perusteella ei voi olla varma, kertooko kasvuston kehityksen seuranta eli lehtien lukumäärän, pituuden tai ravinnepitoisuuksien mittaaminen luotettavasti sipulin fosforin saannista tai mahdollisista puutosoireista kasvukauden aikana.

Tässä tutkimuksessa fosforilannoitusportaiden välisiä eroja ei saatu näkyviin viljavuusanalyysissä tai vesiuutolla maan liukoisen fosforin pitoisuudessa ja syy voi olla maan aiemmassa lannoitushistoriassa. Maassa oli riittävästi juuriston saatavilla olevaa fosforia. Molemmilla koepaikoilla maan happamuus ja multavuus olivat fosforin liukoisuuden kannalta sopivalla tasolla ja osaltaan mahdollistivat sipulien normaalin fosforin oton lannoitustasosta riippumatta.

Kuten aiemmissakin kotimaisissa sipulikokeissa, tulokset voivat vaihdella kasvukauden sääolosuhteiden mukaan jonkin verran. Yhden vuoden tulokset kattavassa aineistossa kasvukauden vaihtelevat sääolosuhteet saattoivat heijastua tuloksiin. Siksi fosforilannoituskokeita olisi hyvä jatkaa useamman kasvukauden ajan, jotta saadaan vähennettyä ulkoisten tekijöiden vaikutusta tuloksiin.

Kokeen tulosten perusteella sipuli ei merkittävästi hyödy yli 20–30 kg P/ha suuremmista lannoitusmääristä, kun suomalaisen maan fosforipitoisuus on vähintään välttävällä tasolla. Fosforilannoituksen kohdentaminen todettua tarvetta vastaavaksi on suositeltavin toimenpide myös ympäristön kannalta.

## 9 KIITOKSET

Lämpimät kiitokset ”Vihannesten ja marjakasvien tasapainoinen N- ja P-lannoitus sekä ravinnepäästöjen vähentäminen” –hankkeen rahoittajille mahdollisuudesta suorittaa maisterivaiheen harjoittelu ja kerätä aineisto tätä maisterintutkielmaa varten osana hanketta Luonnonvarakeskuksen Piikkiön toimipisteessä.

Kiitokset kannustuksesta ja aktiivisesta ohjauksesta ohjaajilleni MMT Terhi Suojala-Ahlforsille ja MMT Risto Uusitalolle. Kiitokset arvokkaista kommentteista myös MMT professori Pirjo Mäkelälle. Rakkaat kiitokset puolisololleni TkT Eero Laukkaselle teknisestä ja henkisestä tuesta kirjoitusprosessin aikana. Kiitos myös Aava Asikaiselle opponenttina toimimisesta.

## LÄHTEET

- Alt, D. 1987. Fertilizer use efficiency. *Journal of Plant Nutrition* 10: 9-16.
- Aura, E. 1985. Avomaan vihannesten veden ja typen tarve. Tiedote 7/85. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 61 s.
- Barker, A. & Pilbeam, D. 2007. Introduction. Teoksessa: Barker, A. & Pilbeam, D. (toim.). *Handbook of plant nutrition*. Florida, Yhdysvallat: CRC Press, Taylor & Francis Group. s. 3-18.
- Barrow, N. 2015. Soil phosphate chemistry and the P-sparing effect of previous phosphate applications. *Plant and Soil* 397: 401-409.
- Bhat, K. & Nye, P. 1974. Diffusion of phosphate to plant roots in soil III. Depletion around onion roots without root hairs. *Plant and Soil* 41: 383-394.
- Bosch-Serra, A.-D. & Currah, L. 2002. Agronomy of onions. Teoksessa: Rabinowitch H. D., & Currah L. (toim.). *Allium crop science: recent advantages*. Wallingford, Iso-Britannia: CABI Publishing. s. 187-232.
- Boyhan, G. E., Torrance, R. L. & Hill, R. C. 2007. Effects of nitrogen, phosphorus, and potassium rates and fertilizer sources on yield and leaf nutrient status of short-day onions. *American Society for Horticultural Science* 42: 653-660.
- Brady, N. C. & Weil R. R. 2017. *The nature and properties of soils*. 15. painos. Boston, Yhdysvallat: Pearson. 1104 s.
- Brewster, J. L. 1994. Onions and other vegetable *Alliums*. Wallingford, Iso-Britannia: CAB International. 236 s.
- Brewster, J. L. 1997. Onions and garlic. Teoksessa: Wien, H. C. (toim.). *The physiology of vegetable crops*. Cambridge, Iso-Britannia: CAB International, s. 581-620.
- Brewster, J. L., Bhat, K. K. S. & Nye, P. H. 1975. The possibility of predicting solute uptake and plant growth response from independently measured soil and plant characteristics. II. The growth and uptake of onions solutions of constant phosphate concentration. *Plant and Soil* 42: 171-195.

- Brewster, J. L., Rowse, H. R. & Bosch, A. D. 1991. The effects of sub-seed placement of liquid N and P fertilizer on the growth and development of bulb onions over a range of plant densities using primed and non-primed seed. *Journal of Horticultural Science* 66 (5): 551-557.
- Cizauskas, A. & Viskelis, P. 2002. Influence of nitrogenous fertilizers on onion yield, quality and storability. Teoksessa: Dris, R., Abdelaziz, F.H. & Jain, S. M. (toim.). *Plant nutrition: Growth and diagnosis*. Enfield, New Hampshire, Yhdysvallat: Science Publishers Inc. s. 15-22.
- Cordell, D., Drangert, J.-O. & White, S. 2009. The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environmental Change* 19: 292-305.
- Currah, L. 1990. *Pollination Biology*. Teoksessa: Rabinowitch, H. D. & Brewster, J. L. (toim.). *Onions and allied crops. Volume I. Botany, physiology and genetics*. Florida, Yhdysvallat: CRC Press Inc. s. 135-150.
- Currah, L., Cools, K. & Terry, L.A. 2012. *Onions, shallots and garlic*. Teoksessa: Rees, D., Farrell, G. & Orchard, J. (toim.). *Crop post-harvest: science and technology. Volume 3, Perishables*. West Sussex, Iso-Britannia: Blackwell Publishing Ltd. s. 360-391.
- Darbyshire, B. & Steer, B. T. 1990. *Carbohydrate biochemistry*. Teoksessa: Rabinowitch, H. D. & Brewster, J. L. (toim.). *Onions and allied crops. Volume III. Biochemistry, food science and minor crops*. Florida, Yhdysvallat: CRC Press Inc. s. 1-16.
- Fenwick, G. R. & Hanley A. B. 1990. *Chemical composition*. Teoksessa: Rabinowitch, H. D. & Brewster, J. L. (toim.). *Onions and allied crops. Volume III. Biochemistry, food science and minor crops*. Florida, Yhdysvallat: CRC Press Inc. s. 18-28.
- Fink, M., Feller, C., Scharpf, H.-C., Weier, U., Mayne, A., Ziegler, J., Pashold, P.-J. ja Strohmeyer, K. 1999. Nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium contents of

- field vegetables – Recent data for fertilizer recommendations and nutrient balances. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 162: 71-73.
- Fredeen, A. L., Rao, I. M. ja Terry, N. 1989. Influence of phosphorus nutrition on growth and carbon partitioning in *Glycine max* (L.) Merr. *Plant Physiology* 89: 225-230.
- Gilbert, N. 2009. The disappearing nutrient. *Nature* 461(7265): 716-718.
- Goltz, S. M., Tanner, C. B., Millar, A. A. & Lang, A. R. G. 1971. Water balance of a seed onion field. *Agronomy Journal* 63: 762-765.
- Greenwood, D. J., Cleaver, T. J., Turner, M. K., Hunt, J., Niendorf, K. B. & Loquens, S. M. H. 1980. Comparison of the effects of phosphate fertilizer on the yield, phosphate content and quality of 22 different vegetable and agricultural crops. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 95: 457-469.
- Greenwood, D. J., Gerwitz, A., Stone, D. A. & Barnes, A. 1982. Root development of vegetable crops. *Plant and Soil* 68: 75-96.
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring J., Skrumsager Møller, I. & White, P. 2012. Functions of macronutrients. Teoksessa: Marschner, P. (toim.). *Mineral nutrition of higher plants*. 3. painos. Lontoo, Iso-Britannia: Academic Press Harcourt Brace & Company. s. 135-189.
- Henriksen, K. 1987. Effect of N- and P-fertilization on yield and harvest time in bulb onions (*Allium cepa* L.) *Acta Horticulturae* 198: 207-215.
- Huett, D.O., Maier, N.A., Sparrow, L.A. & Piggot, T.J. 1997. *Vegetables*. Teoksessa: Dutkiewicz, C., Robinson, J. B., Reuter, D. J. *Plant analysis: An interpretation manual*. 2. painos. Collingwood, VIC, Australia: Csiro Publishing. s. 424-425.
- Kirk, P. L. 1950. Kjeldahl method for total nitrogen. *Analytical Chemistry* 22 (2): 354-358.



- Lee, J., Song, J. & Lee, S. 2012. Excessive fertilization is detrimental to yield and quality for onion grown on high organic matter content paddy soils. *International Journal of Vegetable Science* 18: 235-244.
- Mavi. 2015. Maaseutuvirasto. Ympäristökorvauksen sitoutumisehdot.  
<http://www.mavi.fi/fi/oppaat-ja-lomakkeet/viljelijä/Sivut/Ymp%C3%A4rist%C3%B6korvauksen-sitoutumisehdot.aspx> Päivitetty 12.5.2015. Viitattu 10.1.2016.
- Mengel, K. & Kirkby, E. A. 2001. Principles of plant nutrition. 5. painos. Bern, Sveitsi: International Potash Institute. 807 s.
- Murphy, J. & Riley, J. P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta* 27: 31-36.
- Nonnecke, I. L. 1989. Bulbs. Teoksessa: Nonnecke, I. L. 1989. Vegetable production. New York, USA: Van Nostrand Reinhold. s. 294-311.
- Peirce, L. C. 1987. Alliums. Teoksessa: Peirce, L. C. 1987. Vegetables. Characteristics, production and marketing. New York, USA: John Wiley and Sons Inc. s. 271-281.
- Pire, R., Ramírez, J., Riera, J. ja Gómez, N. 2002. Uptake of N, P, K, and Ca by onion plants (*Allium cepa* L.) Teoksessa: Dris, R., Abdelaziz, F. H. ja Jain, S. M. (toim.). Plant nutrition: Growth and diagnosis. Enfield, New Hampshire, Yhdysvallat: Science Publishers Inc. s. 15-22.
- Räty, E. 2017. Viljelykasvien nimistö. Puutarhaliiton julkaisuja nro 376. Helsinki: Puutarhaliitto.
- Salo, T., Suojala, T., Kallela, M. & Pulkkinen, J. 2001. Vihannesten ravinteiden otto. Teoksessa: Tahvonen, R., Suojala, T. & Sironen, L. (toim.). Kasvukauden oloihin sopeutuva puutarhaviljely. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja, sarja A. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. s. 54-61.
- Salo, T., Suojala T. & Kallela, M. 2002. The effect of fertigation on yield and nutrient uptake of cabbage, carrot and onion. *Acta Horticulturae* 571: 235-241.

- Sanchez, C. 2007. Phosphorus. Teoksessa: Barker A. & Pilbeam D. (toim.). Handbook of plant nutrition. Florida, Yhdysvallat: CRC Press, Taylor & Francis Group. s. 51-90.
- Sanders, F. E. & Tinker, P. B. 1973. Phosphate flow into mycorrhizal roots. *Pesticide Science* 4: 385-395.
- Smil, V. 2000. Phosphorus in the environment: Natural flows and human interferences. *Annual Review of Environment and Resources* 25: 53-88.
- Sorensen, J. N., Larsen, J. & Jakobsen, I. 2005. Mycorrhiza formation and nutrient concentration in leeks (*Allium porrum* L.) in relation to previous crop and cover crop management on high P soils. *Plant and Soil* 273: 101-114.
- Sorensen, J. N., Larsen, J. & Jakobsen, I. 2008. Pre-inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi increases early nutrient concentration and growth of field-grown leeks under high productivity conditions. *Plant and Soil* 307: 135-147.
- Suojala, T. & Kallela, M. 2001. Lannoitustavan ja sadonkorjuuajan vaikutus vihannesten varastokestävyyteen ja laatuun. Teoksessa: Tahvonen, R., Suojala, T. & Sironen, L. (toim.). Kasvukauden oloihin sopeutuva puutarhaviljely. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja, sarja A. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. s. 62-69.
- Suojala, T., Salo, T., Kallela, M., Pulkkinen, J. & Kaukoranta, T. 2001. Keräkaalin, sipulin ja porkkanan kastelu ja lannoitus. Teoksessa: Tahvonen, R., Suojala, T. & Sironen, L. (toim.). Kasvukauden oloihin sopeutuva puutarhaviljely. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja, sarja A. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus, s. 45-53.
- Suojala, T., Salo, T. & Pessala, R. 1998. Effects of fertilisation and irrigation practices on yield, maturity and storability of onions. *Agricultural and Food Science in Finland* 7: 477-489.

- Suojala-Ahlfors, T. 2017. Vihannesten ja mansikan tasapainoinen fosfori- ja typpilannoitus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 44/2017. Helsinki: Luonnonvarakeskus. 84 s.
- SVT. 2018. Suomen virallinen tilasto: Puutarhatilastot 2017 (verkkojulkaisu). <http://stat.luke.fi/puutarhatilastot> Päivitetty 28.3.2018. Viitattu 29.8.2018.
- SVT. 2017. Suomen virallinen tilasto: Käytössä oleva maatalousmaa 2017 (ennakkotieto 14.7.2017). <http://stat.luke.fi/kaytossa-oleva-maatalousmaa> Viitattu 29.8.2017.
- Valkama E., Uusitalo, R. & Turtola, E. 2011. Yield response models to phosphorus application: a research synthesis of Finnish field trials to optimize fertilizer P use of cereals. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 91: 1-15.
- Van Vuuren, D. P., Bouwman, A.F. & Beusen, A. H. W. 2010. Phosphorus demand for the 1970–2100 period: A scenario analysis of resource depletion. *Global Environmental Change* 20: 428-439.
- Vuorenmaa, J., Rekolainen, S., Lepistö, A., Kenttämies, K. & Kauppila, P. 2002. Losses of nitrogen and phosphorus from agricultural and forest areas in Finland during the 1980s and 1990s. *Environmental Monitoring and Assessment* 76 (2): 213-248.
- Wheeler, T. R. & Ellis, R. H. 1992. Seed quality and seedling emergence in onion (*Allium cepa* L.). *Journal of Horticultural Science* 67 (3): 319–332.

## LIITE 1 Koekartat

### PROFESSORINPELTO (runsasmultainen karkea hietä)

Lohko 3	<b>9</b> 15P	<b>10</b> 30P	<b>11</b> 5P	<b>12</b> 0P	<b>13</b> 15P	<b>14</b> 5P	<b>15</b> 0P	<b>16</b> 30P	Lohko 4
Lohko 1	<b>1</b> 15P	<b>2</b> 0P	<b>3</b> 30P	<b>4</b> 5P	<b>5</b> 5P	<b>6</b> 30P	<b>7</b> 15P	<b>8</b> 0P	Lohko 2

yhteensä 36 istutusriviä  
Koealueen pituus 12 m ja leveys 13,5 m sisältäen  
harmaalla merkityt suoja-alueet.

Yhden ruudun pinta-ala 9 m<sup>2</sup>.  
Koko alueen pinta-ala 13,5 x 12 m = 162 m<sup>2</sup>.

### PAJUPELTO (runsasmultainen hiuesavi)

Lohko 3	<b>29</b> 0P	<b>30</b> 20P	<b>31</b> 100P	<b>32</b> 50P	<b>33</b> 20P	<b>34</b> 50P	<b>35</b> 100P	<b>36</b> 0P	Lohko 4
Lohko 1	<b>21</b> 20P	<b>22</b> 100P	<b>23</b> 50P	<b>24</b> 0P	<b>25</b> 20P	<b>26</b> 0P	<b>27</b> 100P	<b>28</b> 50P	Lohko 2

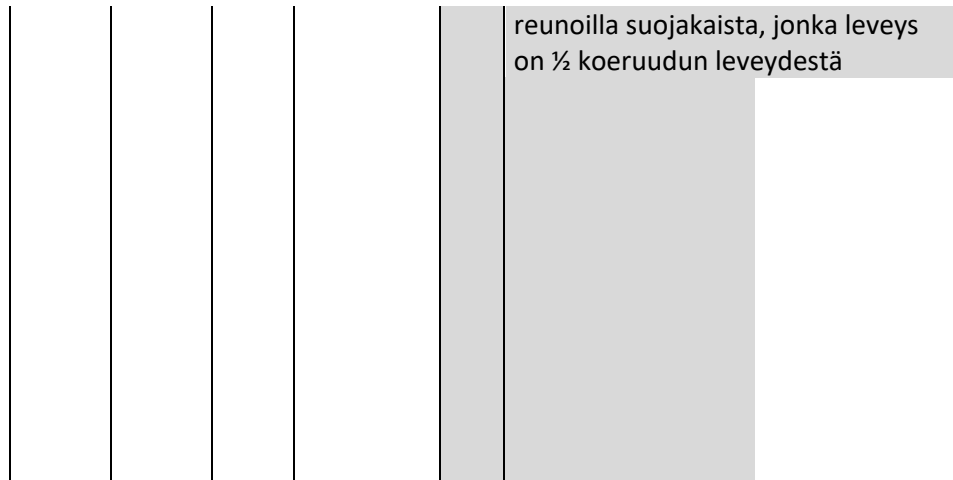
Ylempi luku ruudun sisällä on ruudun numero, alempi ruudun P-lannoitus kg/ha.

1 koeruutu:

ruudun pituus 6 m ja leveys 150 cm, jossa 4 riviä

---

riviväli 30 cm



Sipulien istutusetäisyys rivissä 7 cm istukkaiden välillä  
Neliömetrillä n. 57 istukasta (n. 240 g)

Sato korjattiin koeruudusta 5 m x 0,75 m (3,75 m<sup>2</sup>) alalta.

Lähde: Terhi Suojala-Ahlfors

## LIITE 2 Sipulien ja lehtien ravinnepitoisuudet

Sadosta mitatut sipulien ja lehtien magnesium- (Mg), kalsium- (Ca), natrium (Na)-, rikki- (S), mangaani- (Mn), boori- (B), kupari- (Cu), sinkki- (Zn) ja rautapitoisuudet (Fe). Ravinteet on analysoitu 16 sipulista/koeruutu. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot ( $p < 0,05$ ) on korostettu.

Lannoitus- taso	Mg		Ca		Na		S		Mn		B		Cu		Zn		Fe	
	g/kg ka		g/kg ka		g/ kg ka		g/kg ka		mg/kg ka		mg/kg ka		mg/kg ka		mg/kg ka		mg/kg ka	
	sipulit	lehdet	sipulit	lehdet	sipulit	lehdet	sipulit	lehdet	sipulit	lehdet	sipulit	lehdet	sipulit	lehdet	sipulit	lehdet	sipulit	lehdet
0 P Hieta	1,17	4,06	4,32	29,45	0,07	0,11	4,84	8,04	8,03	37,75	15,25	32,75	6,50	3,98	19,00	9,58	28,50	202,50
5 P Hieta	2,12	4,07	4,67	29,80	0,08	0,23	5,06	5,98	8,65	36,00	16,25	30,00	6,55	4,60	18,75	8,97	25,50	285,00
15 P Hieta	1,26	4,36	4,71	31,15	0,08	0,19	5,28	6,92	9,05	39,25	16,50	32,00	5,88	4,68	19,00	9,55	28,50	285,00
30 P Hieta	1,15	4,14	4,52	30,98	0,08	0,18	5,14	6,50	7,28	28,00	15,25	28,75	5,88	4,63	16,25	8,40	22,50	305,00
SE	0,02	0,08	0,07	0,53	0,00	0,14	0,06	0,24	0,27	1,60	0,29	0,66	0,21	0,14	0,49	0,27	0,97	18,20
p-arvo	0,156	0,546	0,167	0,643	0,061	<b>0,003</b>	0,051	<b>0,002</b>	0,079	<b>0,039</b>	0,302	0,106	0,053	0,217	0,116	0,375	0,065	0,196
0 P Savi	1,39	5,65	3,66	23,38	0,09	0,33	5,05	7,07	16,75	109,25	15,25	30,50	7,10	4,65	33,00	15,75	39,25	880,00
20 P Savi	1,48	5,42	3,85	22,58	0,10	0,40	5,53	7,72	17,50	107,25	17,00	33,50	8,60	4,78	40,00	15,25	39,75	837,50
50 P Savi	1,35	5,34	3,87	25,43	0,08	0,29	4,94	6,76	14,25	86,50	15,50	30,00	6,40	4,35	31,00	14,00	26,00	580,00
100 P Savi	1,39	5,50	3,92	23,38	0,09	0,30	5,13	6,45	12,75	69,25	16,00	29,25	7,00	4,18	32,00	11,50	24,50	600,00
SE	0,02	0,10	0,06	0,46	0,00	0,14	0,09	0,17	0,72	6,31	0,25	0,62	0,27	0,12	1,32	0,63	2,148	50,46
p-arvo	0,159	0,741	0,478	0,142	<b>0,018</b>	<b>0,003</b>	0,078	<b>0,030</b>	<b>0,047</b>	0,061	<b>0,043</b>	0,058	<b>0,009</b>	0,263	<b>0,044</b>	0,052	<b>0,001</b>	<b>0,043</b>

### LIITE 3 Lehtien ravinnepitoisuudet

Kasvukaudella otettujen lehtinäytteiden magnesium- (Mg), kalsium- (Ca), rikki- (S), mangaani- (Mn), boori- (B), kupari- (Cu), sinkki- (Zn) ja rautapitoisuus (Fe). Ravinteet on analysoitu 16 sipulista/koeruutu.

Lannoitustaso	Mg g/kg ka	Ca g/kg ka	S g/kg ka	Mn mg/kg ka	B mg/kg ka	Cu mg/kg ka	Zn mg/kg ka	Fe mg/kg ka
0 P Hieta	1,68	10,78	4,08	17,60	18,45	4,55	9,70	84,75
5 P Hieta	1,67	10,72	4,11	17,05	17,58	4,65	9,40	97,75
15 P Hieta	1,64	9,93	3,95	16,45	16,88	4,28	9,68	76,25
30 P Hieta	1,71	10,20	4,15	18,43	19,38	4,60	9,48	78,25
SE	0,16	1,00	0,29	2,04	2,26	0,27	0,81	8,82
p-arvo	0,978	0,796	0,906	0,797	0,715	0,541	0,977	0,117
0 P Savi	2,51	9,58	5,80	63,03	17,00	6,55	20,38	158,00
20 P Savi	2,39	8,90	5,23	57,15	17,03	6,33	20,78	210,25
50 P Savi	2,26	8,11	4,93	49,95	16,53	6,60	21,93	216,75
100 P Savi	2,19	7,78	5,21	58,73	16,85	6,65	22,18	213,25
SE	1,30	0,75	0,71	13,96	0,79	0,33	3,78	44,46
p-arvo	0,119	0,145	0,880	0,835	0,138	0,876	0,488	0,685

## LIITE 4 Viljavuustulokset

Maan pH, fosforin (P), kaliumin (K), rikin (S), kalsiumin (Ca) ja magnesiumin (Mg) pitoisuudet toukokuussa ennen lannoituskoetta ja pitoisuuksien muutos (+/-) sadonkorjuun jälkeen. (-- = ei muutosta) n=4.

Lannoitustaso	pH		P mg/l		K mg/l		S mg/l		Ca mg/l		Mg mg/l	
0 P Hieta	7,4	--	36	+2	94	+12	5,3	+9,1	1950	-75	109	-1
5 P Hieta	7,4	-0,1	36	+3	98	+20	5,0	+8,8	1950	-175	113	-3
15 P Hieta	7,3	--	36	+8	96	+19	5,1	+4,9	1900	+50	110	+3
30 P Hieta	7,4	-0,1	36	+4	102	+10	4,7	+6,9	2000	-175	118	-8
0 P Savi	5,9	-0,2	6	--	360	-30	12,1	+21,2	1650	-50	313	-3
20 P Savi	5,9	-0,2	6	+1	365	-37	13,2	+21,8	1700	-75	320	-10
50 P Savi	5,8	-0,1	5	+2	370	-40	13,7	+19,9	1650	-50	323	+2
100 P Savi	5,9	-0,2	6	+2	373	-48	12,7	+20,7	1675	-50	325	-15

0-100P= fosforilannoitustaso, kg/ha